2ª edição

Angelo Machado

Neuroanatomia Funcional

Atheneu

Prefácio

Neuroanatomia Funcional, do professor Angelo Machado, após vários anos de sucessivas reimpressões decorrentes de seu sucesso entre estudantes e professores da área de neurociências é apresentado agora em nova edição, totalmente revista e ampliada. Esta segunda edição traz mudanças radicais em alguns capítulos, como os que tratam da estrutura e função do cerebelo, dos núcleos da base, do córtex cerebral e das grandes vias motoras.

Algumas áreas pouco conhecidas e que se tornaram importantes do ponto de vista clínico em razão dos avanços que experimentaram nos últimos tempos — como as vias monoaminérgicas centrais, as vias da analgesia, o planejamento motor e as bases anatômicas de algumas doenças, como por exemplo a doença de Alzheimer — são apresentadas de maneira simples e precisa. Tendo em vista o grande desenvolvimento das técnicas de diagnóstico por neuroimagem, o professor Angelo Machado introduziu-as no seu livro, possibilitando ao aluno um contato direto com as aplicações práticas dessas técnicas que revolucionaram o conhecimento e o tratamento das afecções neurológicas, como a tomografia computadorizada, a ressonância magnética e a tomografia por emissão de pósitrons.

Entre as grandes modificações desta edição está a inclusão de um capítulo sobre o tecido nervoso, escrito pela professora Conceição R. S. Machado, do Departamento de Morfologia da UFMG, esposa do autor e sua colaboradora de muitos anos. Nesse capítulo estudam-se não só a unidade fundamental do sistema nervoso, o neurônio, como também outros tipos celulares que constituem a neuróglia. Os mecanismos de transmissão sináptica, bem como a organização dos neurotransmissores e fibras nervosas, são aí abordados de maneira clara e completa.

Deve-se ressaltar também em Neuroanatomia Funcional a ênfase dada aos aspectos da aplicação clínica e da fisiopatologia de grande número de afecções neurológicas, o que torna o livro útil não só a estudantes de medicina e psicologia, mas também a todos os profissionais envolvidos no estudo do sistema nervoso. O excelente trabalho artístico realizado pelo desenhista Fernando Valmoro, constituído de desenhos originais feitos sob a orientação do autor, enriquece ainda mais a obra.

Graças a seu talento de professor, pesquisador e comunicador, Angelo Machado tornou ainda melhor nesta nova edição o já excelente Neuroanatomia Funcional, que certamente

continuará sendo livro-mestre para o ensino da neuroanatomia. Sua grande experiência no ensino da matéria faz com que ela seja apresentada de maneira simples e didática, tornando o assunto, tido como difícil e insípido, agradável de ser estudado.

Gilberto Belisário Campos

Apresentação do Autor

O enorme avanço das neurociências na última década fez com que o lançamento da segunda edição, revista e ampliada, de Neuroanatomia Funcional, *se tornasse uma necessidade. Este avanço exigiu mudanças consideráveis em alguns capítulos e a introdução de vários tópicos cujo conhecimento não existia ou era incipiente na época em que o livro foi escrito. Entretanto, apesar de um pouco ampliado, o livro continua a manter seu caráter essencialmente didático, voltado sobretudo para alunos de graduação em medicina e psicologia.*

Considerando-se a sobrecarga de estudos que atualmente pesa sobre esses alunos e a extensão dos assuntos a serem tratados sob o título "neuroanatomia funcional", foi feita nesta edição, assim como na anterior, uma cuidadosa seleção dos tópicos a serem abordados, omitindo-se aqueles considerados menos relevantes do ponto de vista funcional ou clínico. Em notas de rodapé foram feitas algumas referências bibliográficas, que permitirão ao aluno aprofundar seus conhecimentos, especialmente em assuntos controvertidos. A neuroanatomia é geralmente considerada matéria difícil e enfadonha. Um dos objetivos deste livro foi torná-la mais acessível e interessante, sem deixar, ao mesmo tempo, de acentuar as modernas descobertas nesse campo.

A disposição geral da matéria continua a mesma da primeira edição e obedece à seqüência didática que julgamos mais lógica e que foi adotada durante os 28 anos em que nos dedicamos ao ensino da neuroanatomia para alunos de medicina e, em parte, também de psicologia. Entretanto, achamos conveniente incluir, depois dos dois capítulos introdutórios, um capítulo sobre o tecido nervoso, escrito pela professora Conceição Ribeiro da Silva Machado, do Departamento de Morfologia da UFMG. Assim como na primeira edição, as ilustrações mereceram especial cuidado, tendo sido acrescentadas, além de seis tomografias, 20 novos desenhos, seis dos quais a cores.

A publicação desta segunda edição de Neuroanatomia Funcional *só foi possível graças ao apoio e colaboração de um grande número de pessoas, a quem expresso meus sinceros agradecimentos, destacando-se entre elas o desenhista Fernando Val Moro, do Departamento de Morfologia do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG, cujo perfeito domínio da técnica, aliado a um notável senso de estética, contribuiu decisivamente para a ótima qualidade das ilustrações; a professora Conceição Ribeiro da Silva Machado, pelas críticas e sugestões e especialmente pela elaboração do capítulo sobre tecido nervoso; os professores Ramon Moreira Cosenza, Júlio Anselmo de Souza Neto e Francisco Eduardo*

Costa Cardoso, assim como a Dra. Lúcia Ribeiro Machado, pelas valiosas críticas e sugestões. Ao jornalista Roberto Barros de Carvalho e à minha secretária, Sônia de Paula Silveira, agradeço, respectivamente, a revisão do texto e sua digitação.

Angelo ***Machado***

Sumário

Capítulo 1

Alguns Aspectos da Filogênese do Sistema Nervoso

1.0 — FILOGÊNESE DO SISTEMA NERVOSO — ORIGEM DE ALGUNS REFLEXOS

Os seres vivos, mesmo os mais primitivos, devem continuamente se ajustar ao meio ambiente para sobreviver. Para isto, três propriedades do protoplasma são especialmente importantes: *irritabilidade, condutibilidade* e *contratilidade*. A irrilabilidade, ou propriedade de ser sensível a um estímulo, permite a uma célula detectar as modificações do meio ambiente. Sabemos que uma célula é sensível a um estímulo quando ela reage a este estímulo, por exemplo, dando origem a um impulso que é conduzido através do protoplasma (condutibilidade), determinando uma resposta em outra parte da célula. Esta resposta pode se manifestar por um encurtamento da célula (contratilidade), visando fugir de um estímulo nocivo. Um organismo unicelular como a ameba apresenta todas as propriedades do protoplasma, inclusive as três propriedades acima mencionadas. Assim, quando tocamos uma ameba com a agulha de um micromanipulador, vemos que lentamente ela se afasta do ponto onde foi tocada. Ela é sensível e conduz informações sobre o estímulo

Fig. 1.1 — *Célula muscular primitiva de uma esponja.*

a outras partes da célula, determinando retração de um lado e emissão de pseudópodes do outro. Tendo todas as propriedades do protoplasma, uma célula como a ameba não se especializou em nenhuma delas e suas reações são muito rudimentares. Em seres um pouco mais complicados como as esponjas (*phylum* Porifera), vamos encontrar células em que uma parte do citoplasma se especializou para a contração e outra, situada na superfície, desenvolveu mais as propriedades da irritabilidade e condutibilidade (Fig. **1.1**). Estas células musculares primitivas são encontradas no epitélio que reveste os orifícios que permitem a penetração da água no interior das esponjas. Substâncias irritantes colocadas na água são detectadas por estas células, que se contraem fechando os orifícios.

Com o aparecimento de metazoários mais complicados, as células musculares passaram a ocupar posição mais profunda, perdendo o contato direto com o meio externo. Surgiram, então, na superfície, células que se diferenciam para receber os estímulos do meio ambiente, transmitindo-os às células musculares subjacentes. Estas células especializadas em irritabilidade (ou excitabilidade) e condutibilidade foram os primeiros *neurônios* que provavelmente surgiram nos celenterados. Assim, no tentáculo de uma anêmona do mar (Fig. 1.2), existem células nervosas unipolares, ou seja, com um só prolongamento denominado axônio, que faz contato com células musculares situadas mais profundamente. Na extremidade destas células nervosas situadas na superfície desenvolveu-se uma formação especial denominada *receptor*. O receptor transforma vários

Fig 1.2 — *Esquema de um dispositivo neuromuscular no tentáculo de um celenterado.*

tipos de estímulos físicos ou químicos em impulsos nervosos, que podem, então, ser transmitidos ao *efetuador,* músculo ou glândula. No correr da evolução apareceram receptores muito complexos para os estímulos mais variados. O dispositivo neuromuscular do tentáculo da anêmona do mar permite respostas apenas locais, no caso relacionadas com deslocamento de partículas de alimento em direção à boca do animal. Em outras partes do corpo dos celenterados existe uma rêde de fibras nervosas formadas principalmente por ramificações dos neurônios da superfície, permitindo difusão dos impulsos nervosos em várias direções. Este tipo de sistema nervoso difuso foi substituído nos platelmintos c anelídeos por um sistema nervoso mais avançado, no qual os elementos nervosos tendem a se agrupar em um *sistema nervoso central* (centralização do sistema nervoso). Nos anelídeos, como a minhoca, o sistema nervoso é segmentado, sendo formado por um par de gânglios cerebróides e uma série de gânglios unidos por uma corda ventral, correspondendo aos segmentos do animal. O estudo do arranjo dos neurônios em um destes segmentos mostra dispositivos nervosos bem mais complexos do que os já estudados nos celenterados. No epitélio da superfície do animal temos neurônios que, por meio de seu axônio, estão ligados a outros neurônios cujos corpos estão situados no gânglio. Estes, por sua vez, possuem um axônio que faz conexão com os músculos (Fig. 1.3). Os neurônios situados na superfície são especializados em receber os estímulos e conduzir os impulsos ao centro. Por isto são denominados *neurônios sensitivos* ou *neurônios aferentes.* Os neurônios situados no gânglio e especializados na condução do impulso do centro até o efetua-

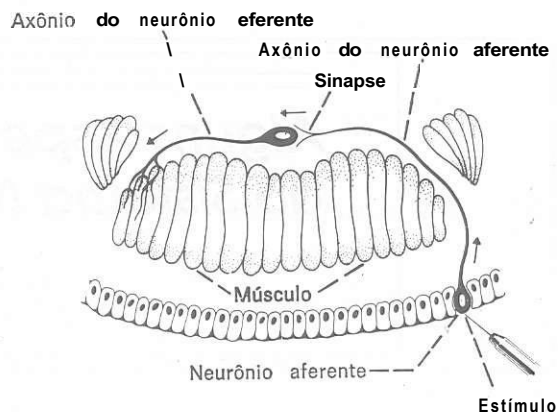



Fig. 1.3 — *Esquema de um arco reflexo simples em um segmento de anelídeo.*

dor, no caso, o músculo, denominam-se *neurônios motores* ou *eferentes.* Os termos aferente e eferente, que aparecem pela primeira vez, serão largamente usados e devem, pois, ser conceituados. São aferentes os neurônios, fibras ou feixes de fibras que trazem impulsos a uma determinada área do sistema nervoso, e eferentes os que levam impulsos desta área. Portanto, aferente se refere ao que entra, c eferente ao que sai de uma determinada área do sistema nervoso. Assim, neurônios cujos corpos estão no cérebro e terminam no cerebelo são eferentes ao cérebro e aferentes ao cerebelo. Deve-se, pois, sempre especificar o órgão ou a área do sistema nervoso em relação à qual os termos são empregados. Quando isto não é feito, entende-se que os termos foram empregados em relação ao sistema nervoso central, como nos dois neurônios da minhoca acima descritos.

A conexão do neurônio sensitivo com o neurônio motor no exemplo acima se faz através de uma *sinapse* localizada no gânglio. Temos, assim, em um segmento de minhoca os elementos básicos de um *arco reflexo simples,* ou seja, um neurônio aferente com seu receptor, um centro onde ocorre a sinapse e um neurônio eferente que se liga ao efetuador, no caso, os músculos. Tal dispositivo permite à minhoca contrair a musculatura do segmento por estímulo no próprio segmento, o que pode ser útil para evitar determinados estímulos nocivos. Este *arco reflexo é intra-segmentar,* pois a conexão entre o neurônio aferente e o eferente envolve apenas um segmento. Devemos considerar, entretanto, que a minhoca é um animal segmentado e que, às vezes, para que ela possa evitar um estímulo

nocivo aplicado em um segmento pode ser necessário que a resposta se faça em outros segmentos. Existe, pois, no sistema nervoso deste animal um terceiro tipo de neurônio, denominado *neurônio de associação* (ou *internuncial*), que faz a associação de um segmento com outro, conforme indicado na Fig. 1.4. Assim, o estímulo aplicado em um segmento dá origem a um impulso que é conduzido pelo neurônio sensitivo ao centro (gânglio). O axônio deste neurônio faz sinapse com o neurônio de associação, cujo axônio, passando pela corda ventral do animal, estabelece sinapse com o neurônio motor do segmento vizinho. Deste modo, o estímulo se inicia em um segmento e a resposta se faz em outro. Temos um *arco reflexo inter segmentar,* pois envolve mais de um segmento e é um pouco mais complicado que o anterior, pois envolve duas sinapses e três neurônios, sensitivo, motor e de associação. A corda ventral de um anelídeo é percorrida por um grande número de axônios de neurônios de associação que ligam segmentos do animal, às vezes distantes.

2.0 — ALGUNS REFLEXOS DA MEDULA ESPINHAL DOS VERTEBRADOS

O conhecimento das conexões dos neurônios no sistema nervoso da minhoca nos permite entender algumas das conexões da medula espinhal dos vertebrados, inclusive do homem. Também aí vamos encontrar arcos reflexos simples, semelhantes aos que vimos na minhoca. Um exemplo temos no reflexo patelar (Fig. 1.5), freqüentemente testado pelos neurologistas. Quando o neurologista bate com seu martelo no joelho de um paciente, a perna se projeta para frente. O martelo estimula receptores no músculo quadriceps, dando origem a impulsos nervosos que seguem pelo neurônio sensitivo. O prolongamento central destes neurônios penetra na medula e termina fazendo sinapse com neurônios motores aí situados. O impulso sai pelo axônio do neurônio motor e volta ao membro inferior, onde estimula as libras do músculo quadriceps, fazendo com que a perna se projete para a frente. Na medula espinhal dos vertebrados, existe uma segmentação, embora não tão nítida como na corda ventral dos anelídeos. Esta segmentação é evidenciada pela conexão dos vários pares de nervos espinhais. Existem reflexos na medula dos vertebrados nos quais a parte aferente do arco reflexo se liga à parte eferente no mesmo segmento ou em segmentos adjacentes. Estes reflexos são considerados intra-segmentares, sendo um exemplo o reflexo patelar.* Entretanto, um grande número de reflexos medulares são intersegmentares, ou seja, o impulso aferente chega à medula em um segmento e a resposta eferente se origina em segmentos às vezes muito distantes, situados acima ou abaixo. Na composição destes arcos reflexos existem neurônios de associação que, na minhoca, associam níveis diferentes dentro do sistema nervoso. Um exemplo clássico de reflexo intersegmentar temos no chamado "reflexo de coçar" do cão. Em um cão previamente submetido a uma secção da medula cervical para se eliminar a interferência do encéfalo, estimula-se a pele da parte dorsal do tórax puxando-se ligeiramente um pêlo. Observa-se que a pata posterior do mesmo lado inicia uma série de movimentos rítmicos semelhantes aos que o animal executa quando coça, por exemplo, o local onde é picado por uma pulga. Sabe-se que este arco reflexo envolve os seguintes elementos: a) neurônios sensitivos ligando a pele ao segmento correspondente da parte torácica da medula espinhal; b) neurônios de associação com um longo axônio descendente ligando esta parte da medula espinhal aos segmentos que

Fig. 1.4 — *Esquema de parte de um animal segmentado, mostrando um arco reflexo intersegmentar.*

* *Na realidade é possível que arcos reflexos rigorosamente intra-segmentares não existam nos mamíferos. Assim, verificou-se no gato que a menor porção de medula espinhal que se pode isolar, mantendo-se sua atividade reflexa, contém dois ou três segmentos.*

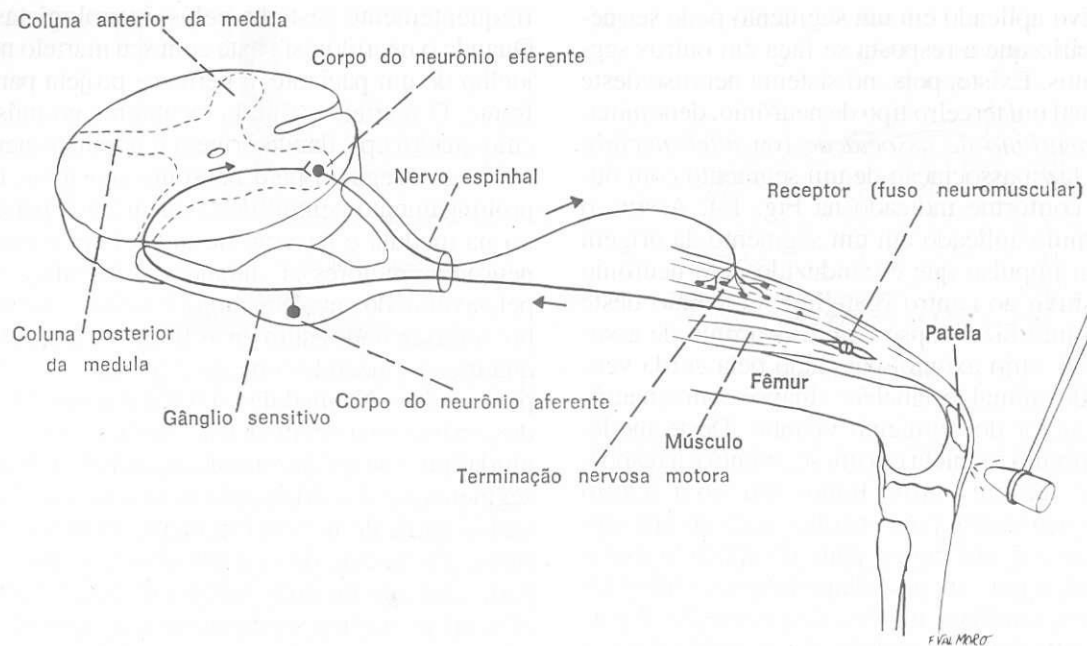



Fig. 1.5 — *Esquema de um arco reflexo simples no homem: reflexo patelar.*

dão origem aos nervos para a pata posterior; c) neurônios motores para os músculos da pata posterior.

3.0 — EVOLUÇÃO DOS TRÊS NEURÔNIOS FUNDAMENTAIS DO SISTEMA NERVOSO

Vimos como apareceram durante a filogênese os três neurônios fundamentais já presentes nos anelídeos, ou seja, o neurônio aferente (ou sensitivo), o neurônio eferente (ou motor) e o neurônio de associação. Todos os neurônios existentes no sistema nervoso do homem, embora recebendo nomes diferentes e variados em diferentes setores do sistema nervoso central, podem, em última análise, ser classificados em um destes três tipos fundamentais. Vejamos algumas modificações sofridas por estes três neurônios durante a evolução.

3.1 — NEURÔNIO AFERENTE (OU SENSITIVO)

Surgiu na filogênase com a função de levar ao sistema nervoso central informações sobre as modificações ocorridas no meio externo, estando inicialmente em relação com a superfície do animal. O aparecimento de metazoários mais complexos com várias camadas celulares trouxe como conseqüência a formação de um *meio interno.* Em virtude disto, alguns neurônios aferentes passaram a levar ao sistema nervoso informações sobre as modificações deste meio interno.

Muito interessantes foram as mudanças na posição do corpo do neurônio sensitivo ocorridas durante a evolução (Fig. 1.6). Em alguns anelídeos este corpo está localizado no epitélio de revestimento, portanto, em contato com o meio externo, e o neurônio sensitivo é unipolar. Nos moluscos temos neurônios sensitivos cujos corpos estão situados no interior do animal, mantendo um prolongamento na superfície. O neurônio sensitivo é bipolar. Já nos vertebrados, a quase totalidade dos neurônios aferentes têm seus corpos em gânglios sensitivos situados junto ao sistema nervoso central, sem, entretanto, penetrar nele. Nesta situação, a maioria dos neurônios sensitivos dos vertebrados é pseudo-unipolar. Tivemos, assim, durante a filogênese, uma tendência de centralização do corpo do neurônio sensitivo. Esta tendência provavelmente resultou da seleção natural, pois a posição do corpo de um neurônio na superfície não é vantajosa. Ele fica mais

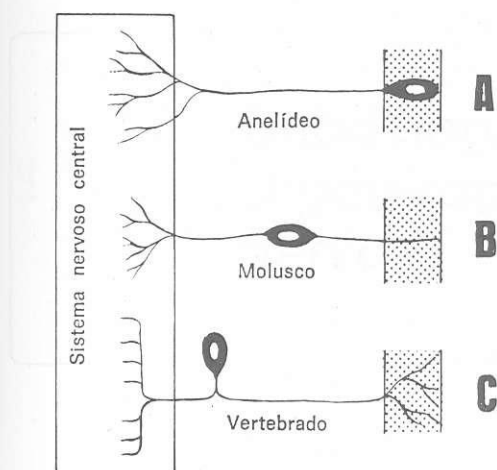



Fig. 1.6 — *Esquema mostrando as modificações na posição do corpo do neurônio sensitivo durante a evolução: A — corpo na superfície; B — corpo entre a superfície e o sistema nervoso central; C — corpo próximo ao sistema nervoso central.*

sujeito a lesões e, ao contrário dos axônios, que podem se regenerar, as lesões do corpo de um neurônio são irreversíveis. Em relação com a extremidade periférica dos neurônios sensitivos surgiram estruturas às vezes muito elaboradas, os receptores, capazes de transformar os vários tipos de estímulos físicos ou químicos em impulsos nervosos, que são conduzidos ao sistema nervoso central pelo neurônio sensitivo.

3.2 — NEURÔNIO EFERENTE (OU MOTOR)

A função do neurônio eferente é conduzir o impulso nervoso ao órgão efetuador, que, nos mamíferos, é um músculo ou uma glândula. O impulso eferente determina, assim, uma contração ou uma secreção. O corpo do neurônio eferente surgiu dentro do sistema nervoso central e a maioria deles permaneceu nesta posição durante toda a evolução. Contudo, os neurônios eferentes que inervam os músculos lisos, músculos cardíacos ou glândulas têm seus corpos fora do sistema nervoso central, em estruturas que são os gânglios viscerais. Estes neurônios pertencem ao sistema nervoso autônomo e serão estudados com o nome de neurônios pós-ganglionares. Já os neurônios eferentes que inervam músculos estriados esqueléticos têm seu corpo sempre dentro do sistema nervoso central (por exemplo, na coluna anterior da medula) e recebem vários nomes: neurônios motores primários, neurônios motores inferiores ou via motora final comum de Sherrington.

3.3 — NEURÔNIOS DE ASSOCIAÇÃO

O aparecimento dos neurônios de associação trouxe um considerável aumento do número de sinapses, aumentando a complexidade do sistema nervoso e permitindo a realização de padrões de comportamento cada vez mais elaborados. O corpo do neurônio de associação permaneceu sempre dentro do sistema nervoso central e seu número aumentou muito durante a evolução. Este aumento foi maior na extremidade anterior dos animais. A extremidade anterior de uma minhoca, ou mesmo de animais mais evoluídos, é aquela que primeiro entra em contato com as mudanças do ambiente, quando o animal se desloca. Esta extremidade se especializou para exploração do ambiente e alimentação, desenvolvendo um aparelho bucal e órgãos de sentido mais complexos, como olhos, ouvidos, antenas etc. Paralelamente, houve nesta extremidade uma concentração de neurônios de associação, dando origem aos vários tipos de gânglios cerebróides dos invertebrados ou ao encéfalo dos vertebrados. O encéfalo aumentou consideravelmente durante a filogênese dos vertebrados (*encefalização*) atingindo o máximo de desenvolvimento no encéfalo humano. Os neurônios de associação constituem a grande maioria dos neurônios existentes no sistema nervoso central dos vertebrados, onde recebem vários nomes. Alguns têm axônios longos e fazem conexões com neurônios situados em áreas distantes. Outros têm axônios curtos e ligam-se apenas com neurônios vizinhos. Estes são chamados neurônios *internunciais* ou *interneurônios*. Em relação com os neurônios de associação situados no encéfalo surgiram as funções psíquicas superiores. Chegamos, assim, ao ápice do sistema nervoso.

Capítulo 2

Embriologia, Divisões e Organização Geral do Sistema Nervoso

1.0 — EMBRIOLOGIA DO SISTEMA NERVOSO

O estudo do desenvolvimento embrionário do sistema nervoso é importante, pois permite entender muitos aspectos de sua anatomia. Muitos lermos largamente usados para denominar partes do encéfalo do adulto baseiam-se na embriologia. No estudo da embriologia do sistema nervoso trataremos principalmente daqueles aspectos que interessam à compreensão da disposição anatômica do sistema nervoso do adulto.

1.1 — ORIGEM DO SISTEMA NERVOSO

Vimos que, durante a evolução, os primeiros neurônios surgiram na superfície externa dos organismos, fato este significativo, tendo em vista a função primordial do sistema nervoso de relacionar o animal com o ambiente. Dos três folhetos embrionários é o ectoderma aquele que está em contato com o meio externo e é deste folheto que se origina o sistema nervoso. O primeiro indício de formação do sistema nervoso consiste em um espessamento do ectoderma, situado acima da notocorda, formando a chamada *placa neural* (Fig. 2.1-A). Sabe-se que, para a formação desta placa e a subseqüente formação e desenvolvimento do tubo neural, tem importante papel a ação indutora da notocorda e do mesoderma. Notocordas implantadas na parede abdominal de embriões de anfíbios induzem aí a formação de tubo neural. Extirpações da notocorda ou do mesoderma em embriões jovens resultam em grandes anomalias da medula.

A placa neural cresce progressivamente, torna-se mais espessa e adquire um sulco longitudinal denominado *sulco neural* (Fig. 2.1-B), que se aprofunda para formar a *goteira neural* (Fig. 2.1-C). Os lábios da goteira neural se fundem para formar o *tubo neural.* (Fig. 2.1-D). O ectoderma não diferenciado, então, se fecha sobre o tubo neural, isolando-o assim do meio externo. No ponto em que este ectoderma encontra os lábios da goteira neural, desenvolvem-se células que formam de cada lado uma lâmina longitudinal denominada *crista neural,* situada dorsolateralmente ao tubo neural (Fig. 2.1). O tubo neural dá origem a elementos do sistema nervoso central, enquanto a crista dá origem a elementos do sistema nervoso periférico, além de elementos não pertencentes ao sistema nervoso. A seguir, estudaremos as modificações que estas duas formações sofrem durante o desenvolvimento.

1.2 — CRISTA NEURAL

Logo após sua formação, as cristas neurais são contínuas no sentido craniocaudal (Fig. 2.1-C). Rapidamente, entretanto, elas se dividem, dando origem a diversos fragmentos que vão formar os gânglios espinhais, situados na raiz dorsal dos nervos espinhais (Fig. 2.1-D). Neles se diferenciam os neurônios sensitivos, pseudo-unipolares, cujos prolongamentos centrais se ligam ao tubo neural, enquanto os prolongamentos periféricos se ligam aos dermátomos

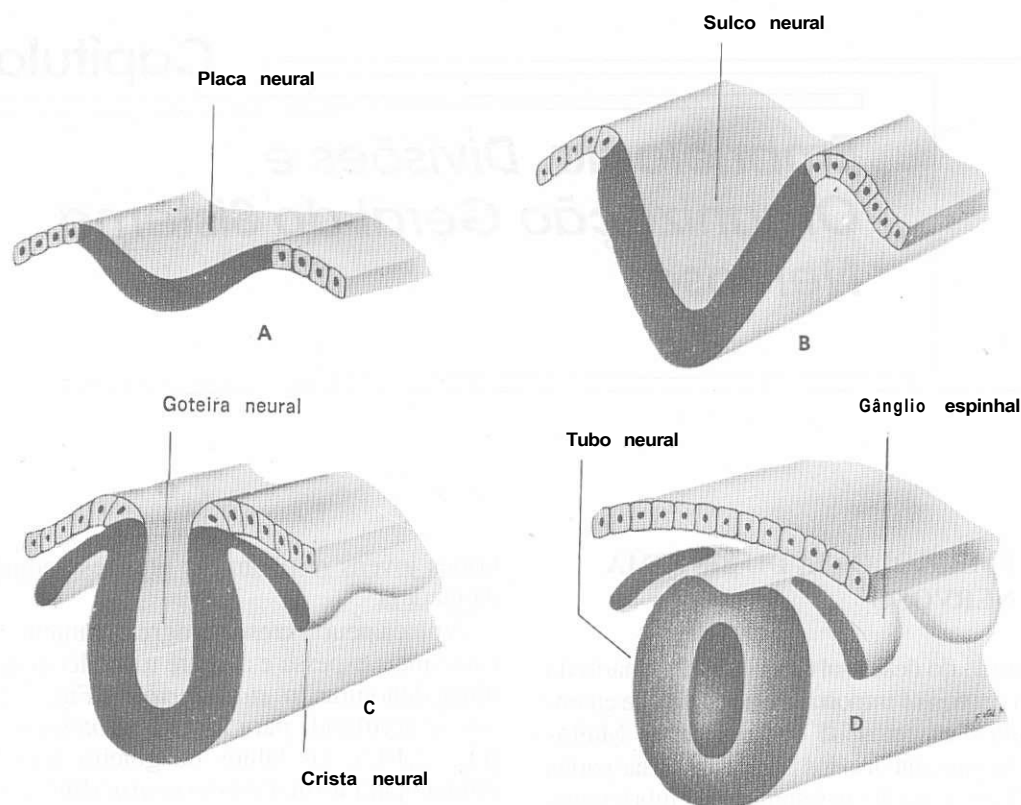



Fig. 2.1 — *Formação do tubo neural c da crista neural.*

dos somitos. Várias células da crista neural migram e vão dar origem a células em tecidos situados longe do sistema nervoso central. Os elementos derivados da crista neural são os seguintes: gânglios sensitivos; gânglios do sistema nervoso autônomo (viscerais); medula da glândula supra-renal; paragânglios; melanócitos; células de Schwann: anfícitos; células C da tireóide: odontoblastos. Entretanto, pesquisas mais recentes demonstraram que algumas estruturas tidas como derivadas do ectoderma na realidade se originam da crista neural, como a dura-máter, a aracnóide e algumas partes do crânio.

1.3 — TUBO NEURAL

O fechamento da goteira neural e, concomitantemente, a fusão do ectoderma não diferenciado é um processo que se inicia no meio da goteira neural e é mais lento nas suas extremidades. Assim, em uma determinada idade, temos tubo neural no meio do embrião e goteira nas extremidades (Fig. 2.2). Mesmo em fases mais adiantadas, permanecem nas extremidades cranial e caudal do embrião dois pequenos orifícios, que são denominados, respectivamente, *neuróporo rostral* c *neuróporo caudal.* Estas são as últimas partes do sistema nervoso a se fecharem.

1.3.1 — Paredes do Tubo Neural

O crescimento das paredes do tubo neural não é uniforme, dando origem às seguintes formações (Fig. 2.3):

a) duas lâminas alares;
b) duas lâminas basais;
c) uma lâmina do assoalho;
d) uma lâmina do tecto.

Separando, de cada lado, as lâminas alares das lâminas basais há o chamado *sulco limitante.* O conhecimento destas formações é importante porque os seus derivados, no adulto, obedecem a uma certa disposição topográfica e funcional. Assim, das lâminas alares e basais derivam neurônios e grupos de neurônios (nú-

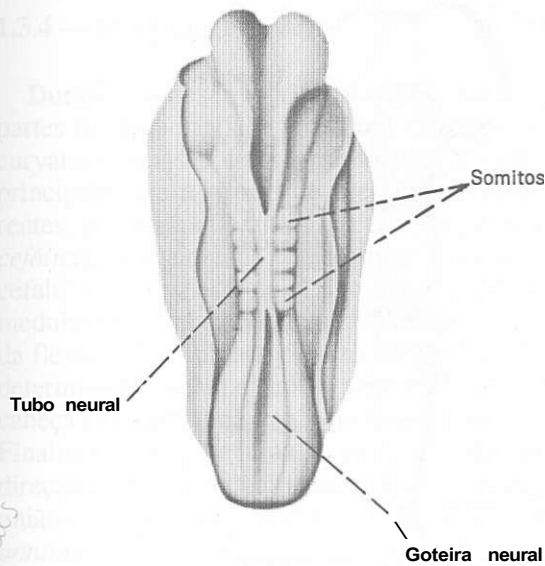



Fig. 2.2 — *Vista dorsal de um embrião humano de 22mm, mostrando o fechamento do tubo neural.*

cleos) ligados, respectivamente, à sensibilidade e à motricidade, situados na medula e no tronco encefálico. Nas lâminas basais diferenciam-se os neurônios motores, e nas lâminas alares fazem conexão os prolongamentos centrais dos neurônios sensitivos situados nos gânglios espinhais. O sulco limitante pode ser identificado mesmo no sistema nervoso do adulto e separa formações motoras dc formações sensitivas. As áreas situadas próximo ao sulco limitante relacionam-se com a inervação das vísceras; as mais afastadas inervam territórios somáticos (músculos esqueléticos e formações cutâneas).

A lâmina do tecto, em algumas áreas do sistema nervoso, permanece muito fina e dá origem ao epêndima da *tela corióide* e dos *plexos corióides*, que serão estudados a propósito dos ventrículos encefálicos. A lâmina do assoalho, em algumas áreas, permanece no adulto, formando um sulco, como o sulco mediano do assoalho do IV ventrículo (Fig. 4.2).

1.3.2 — Dilatações do Tubo Neural

Desde o início de sua formação, o calibre do tubo neural não é uniforme. A parte cranial, que dá origem ao encéfalo do adulto, torna-se dilatada e constitui o *encéfalo primitivo*, ou *arquencéfalo*; a parte caudal, que dá origem à medula do adulto, permanece com calibre uniforme e constitui a *medula primitiva* do embrião.

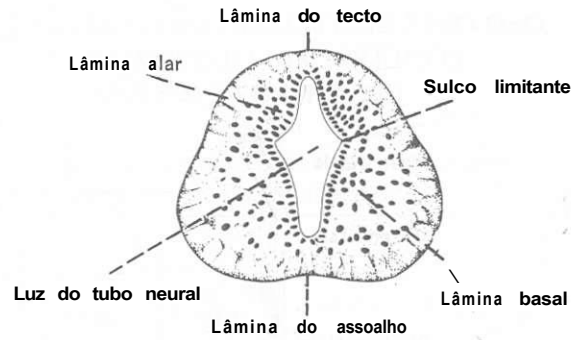
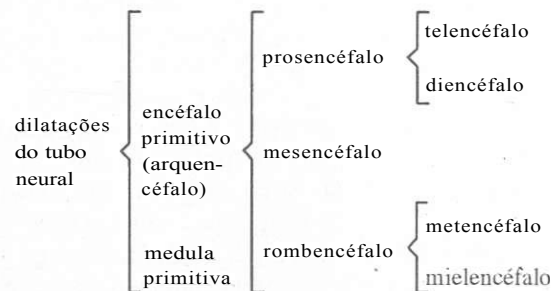



Fig. 2.3 — *Secção transversal de tubo neural.*

No arquencéfalo distinguem-se inicialmente três dilatações, que são as *vesículas encefálicas primordiais* denominadas: *prosencéfalo, mesencéfalo* e *rombencéfalo.* Com o subseqüente desenvolvimento do embrião, o prosencéfalo dá origem a duas vesículas, *telencéfalo* e *diencéfalo.* O mesencéfalo não se modifica, e o rombencéfalo origina o *metencéfalo* e o *mielencéfalo.* Estas modificações são mostradas nas Figs. 2.4 e 2.5 e esquematizadas na chave que se segue:

dilatações do tubo neural	encéfalo primitivo (arquencéfalo)	prosencéfalo	telencéfalo
			diencéfalo
		mesencéfalo	
	medula primitiva	rombencéfalo	metencéfalo
			mielencéfalo

O telencéfalo compreende uma *parte mediana,* da qual se evaginam duas porções laterais, as *vesículas telencefálicas laterais* (Fig. 2.4). A parte mediana é fechada anteriormente por uma lâmina que constitui a porção mais cranial do sistema nervoso e se denomina *lâmina terminal.* As vesículas telencefálicas laterais crescem muito para formar os hemisférios cerebrais e escondem quase completamente a parte mediana e o diencéfalo (Fig. 2.5).

O diencéfalo apresenta quatro pequenos divertículos: dois laterais, as *vesículas ópticas,* que formam a retina; um dorsal, que forma a *glândula pineal*; e um ventral, o *infundíbulo,* que forma a *neuro-hipófise.* O estudo dos derivados das vesículas primordiais será feito mais adiante.

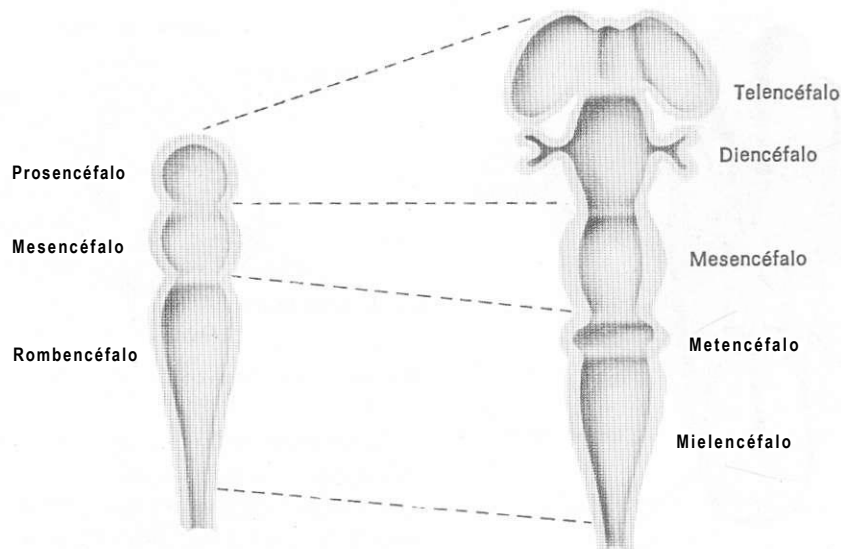



Fig. 2.4 — *Subdivisões do encéfalo primitivo: passagem da fase de três vesículas para a de cinco vesículas.*

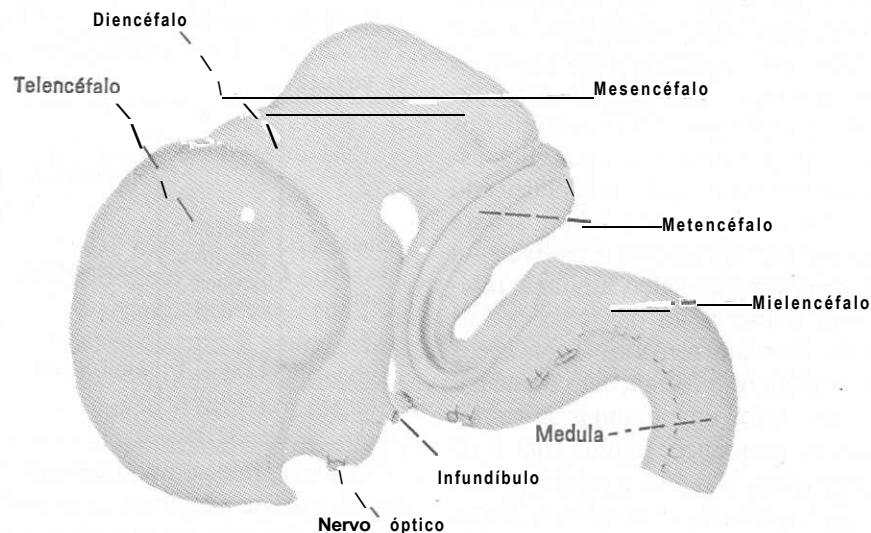



Fig. 2.5 — *Vista Lateral do encéfalo de embrião humano de 50mm.*

1.3.3 — Cavidade do Tubo Neural (Fig. **2.7**)

A luz do tubo neural permanece no sistema nervoso do adulto, sofrendo, em algumas partes, várias modificações. A luz da medula primitiva forma, no adulto, o *canal central da medula*, ou *canal do epêndima* que no homem é muito estreito e parcialmente obliterado. A cavidade dilatada do rombencéfalo forma o *IV ventrículo*. A cavidade do diencéfalo e a da parte mediana do telencéfalo formam o *III ventrículo*. A luz do mesencéfalo permanece estreita e constitui o *aqueduto cerebral* (ou de Sylvius), que une o III ao IV ventrículo. A luz das vesículas telencefálicas laterais forma, de cada lado, os *ventrículos laterais*, unidos ao III ventrículo pelos dois *forames interventriculares* (ou de Monro). Todas estas cavidades são revestidas por um epitélio cuboidal denominado epêndima e, com exceção do canal central da medula, contêm um líquido denominado *líquido cérebro-espinhal*, ou *líquor*.

1.3.4 — Flexuras (Fig. 2.6)

Durante o desenvolvimento das diversas partes do arquencéfalo aparecem flexuras ou curvaturas no seu teto ou assoalho, devidas principalmente a ritmos de crescimento diferentes. A primeira flexura a aparecer é a *flexura cefálica,* que surge na região entre o mesencéfalo e o prosencéfalo. Logo surge, entre a medula primitiva e o arquencéfalo, uma segunda flexura, denominada *flexura cervical.* Ela é determinada por uma flexão ventral de toda a cabeça do embrião na região do futuro pescoço. Finalmente aparece uma terceira flexura, de direção contrária às duas primeiras, no ponto de união entre o meta e o mielencéfalo: a *flexura pontina.* Com o desenvolvimento, as duas flexuras caudais se desfazem c praticamente desaparecem. Entretanto, a flexura cefálica permanece, determinando, no encéfalo do homem adulto, um ângulo entre o cérebro, derivado do prosencéfalo, e o resto do neuro-eixo.

2.0 — DIVISÕES DO SISTEMA NERVOSO

O sistema nervoso é um todo. Sua divisão em partes tem um significado exclusivamente didático, pois as várias partes estão intimamente relacionadas do ponto de vista morfológico e funcional. O sistema nervoso pode ser dividido em partes, levando-se em conta critérios anatômicos, embriológicos e funcionais. Existe ainda uma divisão quanto à segmentação, que é muito didática.

2.1 — DIVISÃO DO SISTEMA NERVOSO COM BASE EM CRITÉRIOS ANATÔMICOS (Fig. 2.7)

Esta divisão, que é das mais conhecidas, vai esquematizada na chave abaixo:

Sistema nervoso central é aquele que se localiza dentro do esqueleto axial (cavidade craniana e canal vertebral); *sistema nervoso periférico é* aquele que se localiza fora deste esqueleto. Esta distinção, embora muito esquemática, não é perfeitamente exata, pois, como é óbvio, os nervos e raízes nervosas, para fazer conexão com o sistema nervoso central, penetram no crânio e no canal vertebral. Demais, alguns gânglios localizam-se dentro do esqueleto axial. *Encéfalo é* a parte do sistema nervoso central situada dentro do crânio neural; *medula*, fl_rnjff se localiza dentro do canal vertebral. Encéfalo e medula constituem o *neuro-eixo.* No encéfalo, temos *cérebro, cerebelo* e *tronco encéfalico* (Fig. 2.7). No homem, a relação entre o tronco encefálico e o cérebro pode ser gros-

Fig. 2.6 — *Vista lateral cio encéfalo de embrião humano de 6mm (A) c dc 14mm (B), mostrando as flexuras.*

Fig. 2.7 — *Partes componentes do sistema nervoso central.*

seiramente comparada à que existe entre o tronco e a copa de uma árvore. A *ponte* separa o *bulbo* (ou medula oblonga), situado caudalmente, do *mesencéfalo,* situado cranialmente. Dorsalmente à ponte e ao bulbo localiza-se o cerebelo (Fig. 2.7).

Nervos são cordões esbranquiçados que unem o sistema nervoso central aos órgãos periféricos. Se a união se faz com o encéfalo, os nervos são *cranianos*; se com a medula, *espinhais*. Em relação com alguns nervos e raízes nervosas existem dilatações constituídas principalmente de corpos de neurônios, que são os *gânglios.* Do ponto de vista funcional, existem *gânglios sensitivos* e *gânglios motores viscerais* (do sistema nervoso autônomo). Na extremidade das fibras que constituem os nervos situam-se as *terminações nervosas,* que, do ponto de vista funcional, são de dois tipos: *sensitivas* (ou aferentes) e *motoras* (ou eferentes).

2.2 — DIVISÃO DO SISTEMA NERVOSO COM BASE EM CRITÉRIOS EMBRIOLÓGICOS

Nesta divisão, as partes do sistema nervoso central do adulto recebem o nome da vesícula primordial que lhes deu origem. Cabe, pois, um estudo da correspondência entre as vesículas primordiais e os componentes do sistema nervoso central, estudado anteriormente a propósito de sua divisão anatômica, o que é feito no esquema a seguir:

Divisão Embriológica		*Divisão Anatômica*
prosencéfalo	telencéfalo	cérebro
	diencéfalo	cérebro
mesencéfalo		mesencéfalo
rombencéfalo	metencéfalo	cerebelo e ponte
	mielencéfalo	bulbo

Os termos telencéfalo, diencéfalo e mesencéfalo são os mais empregados. Não existe uma designação anatômica que corresponda exatamente ao termo embriológico mesencéfalo. O termo *istmo,* às vezes empregado neste sentido, corresponde mais corretamente à porção mais cranial da ponte, no limite com o mesencéfalo.

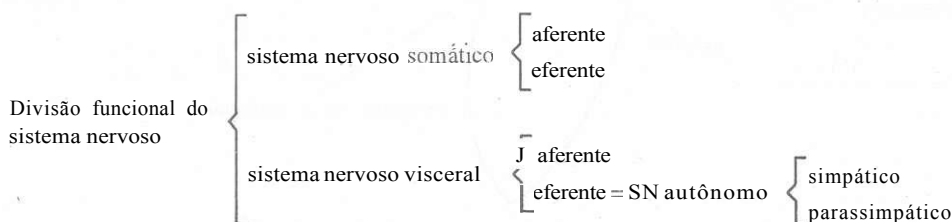
2.3 — DIVISÃO DO SISTEMA NERVOSO COM BASE EM CRITÉRIOS FUNCIONAIS

Pode-se dividir o sistema nervoso em *sistema nervoso da vida de relação,* ou *somático* c *sistema nervoso da vida vegetativa,* ou *visceral. O sistema nervoso da vida de relação* é aquele que relaciona o organismo com o meio ambiente. Apresenta um componente aferente e outro eferente. O componente aferente conduz aos centros nervosos impulsos originados em receptores periféricos, informando-os sobre o que se passa no meio ambiente. O componente eferente leva aos músculos estriados esqueléticos o comando dos centros nervosos, resultando, pois, movimentos voluntários. *Sistema nervoso visceral* é aquele que se relaciona com a inervação e controle das estruturas viscerais. É muito importante para a integração das diversas vísceras no sentido da manutenção da constância do meio interno. Assim como no sistema nervoso da vida de relação, distinguimos no sistema nervoso visceral uma parte aferente e outra eferente. O componente aferente conduz os impulsos nervosos originados cm receptores das vísceras *(visceroceptores)* a áreas específicas do sistema nervoso. O componente eferente leva os impulsos originados em certos centros nervosos até as vísceras, terminando em glândulas, músculos lisos ou músculo cardíaco. O componente eferente do sistema nervoso visceral é denominado *sistema nervoso autônomo* e pode ser subdividido em *simpático* e *parassimpático,* de acordo com vários critérios que serão estudados no Capítulo 12. O esquema abaixo resume o que foi exposto sobre a divisão funcional do sistema nervoso (SN).

Convém lembrar que os componentes somáticos e viscerais do sistema nervoso e suas subdivisões aferentes ou eferentes estão intimamente relacionadas. Por outro lado é, às vezes, difícil classificar certas áreas, especialmente do córtex cerebral, de acordo com estas subdivisões. Apesar disto, a divisão funcional do sistema nervoso tem grande valor didático.

2.4 — DIVISÃO DO SISTEMA NERVOSO COM BASE NA SEGMENTAÇÃO OU METAMERIA

Pode-se dividir o sistema nervoso em *sistema nervoso segmentar* e *sistema nervoso supra-segmentar.* A segmentação no sistema nervoso é evidenciada pela conexão com os nervos. Pertence, pois, ao sistema nervoso segmentar todo o sistema nervoso periférico, mais aquelas partes do sistema nervoso central que estão em relação direta com os nervos típicos, ou seja, a medula espinhal c o tronco encefálico. O cérebro e o cerebelo pertencem ao sistema nervoso supra-segmentar. Os nervos olfatório e óptico se ligam ao cérebro, mas veremos que não são nervos típicos. Esta divisão põe em evidência as semelhanças estruturais e funcionais existentes entre a medula e tronco encefálico, órgãos do sistema nervoso segmentar, em oposi-

ção ao cérebro e cerebelo, órgãos do sistema nervoso supra-segmentarAssim, nos órgãos do sistema nervoso supra-segmentar, a substância cinzenta localiza-se por fora da substância branca e forma uma camada fina, o córtex, que reveste toda a superfície do órgão. Já nos órgãos do sistema nervoso segmentar não existe córtex, e a substância cinzenta pode localizar-se por dentro da branca, como ocorre na medula. O sistema nervoso segmentar surgiu na evolução antes do supra-segmentar e, funcionalmente, pode-se dizer que lhe é subordinado. Assim, de um modo geral, as comunicações entre o sistema nervoso supra-segmentar e os órgãos periféricos, receptores e efetuadores, se fazem através do sistema nervoso segmentar. Com base nesta divisão, pode-se classificar os arcos reflexos em *supra-segmentares*, quando o componente aferente se liga ao eferente no sistema nervoso supra-segmentar, e *segmentares*, quando isto se faz no sistema nervoso segmentar.

3.0 — ORGANIZAÇÃO MORFOFUNCIONAL DO SISTEMA NERVOSO

Com base nos conceitos já expostos, podemos ter uma idéia geral da organização morfofuncional do sistema nervoso (Fig. 2.8). Os neurônios sensitivos, cujos corpos estão nos gânglios sensitivos, conduzem à medula ou ao tronco encefálico (sistema nervoso segmentar) impulsos nervosos originados em receptores situados na superfície (por exemplo, na pele) ou no interior (vísceras, músculos e tendões) do animal. Os prolongamentos centrais destes neurônios ligam-se diretamente (reflexo simples) ou por meio de neurônios de associação aos neurônios motores (somáticos ou viscerais), os quais levam o impulso a músculo ou a glândulas, formando-se, assim, arcos reflexos mono ou polissinápticos. Por este mecanismo podemos rápida e involuntariamente retirar a mão quando tocamos em uma chapa quente. Neste caso, entretanto, é conveniente que o sistema nervoso supra-segmentar seja "informado" do ocorrido. Para isto, os neurônios sensitivos ligam-se a neurônios de associação situados no sistema nervoso segmentar. Estes levam o impulso ao cérebro, onde o mesmo é interpretado, tornando-se consciente e manifestando-se como dor. Convém lembrar que, no exemplo dado, a retirada reflexa da mão é automática e independe da sensação de dor. Na realidade o movimento reflexo se faz mesmo quando a medula está seccionada, o que, obviamente, impede qualquer sensação abaixo do nível da lesão. As fibras que levam ao sistema nervoso supra-segmentar as informações recebidas no sistema nervoso segmentar constituem as grandes vias ascendentes do sistema nervoso. No exemplo anterior, tornando-se consciente do que ocorreu, o indivíduo poderá tomar um série de providências, como, por exemplo, cuidar de sua mão queimada ou desligar a chapa quente. Qualquer dessas ações envolverá a execução de um ato motor voluntário. Para isto, os neurônios do seu córtex cerebral enviam uma "ordem" por meio de fibras descendentes aos neurônios motores situados no sistema nervoso segmentar. Estes "retransmitem" a ordem aos músculos estriados, de modo que os movimentos necessários ao ato sejam realizados. A coordenação destes movimentos é feita pelo cerebelo, que recebe por meio do sistema nervoso segmentar informações sobre o grau de contração dos músculos e envia, por meio de vias descendentes complexas, impulsos capazes de coordenar a resposta motora (Fig. 2.8).

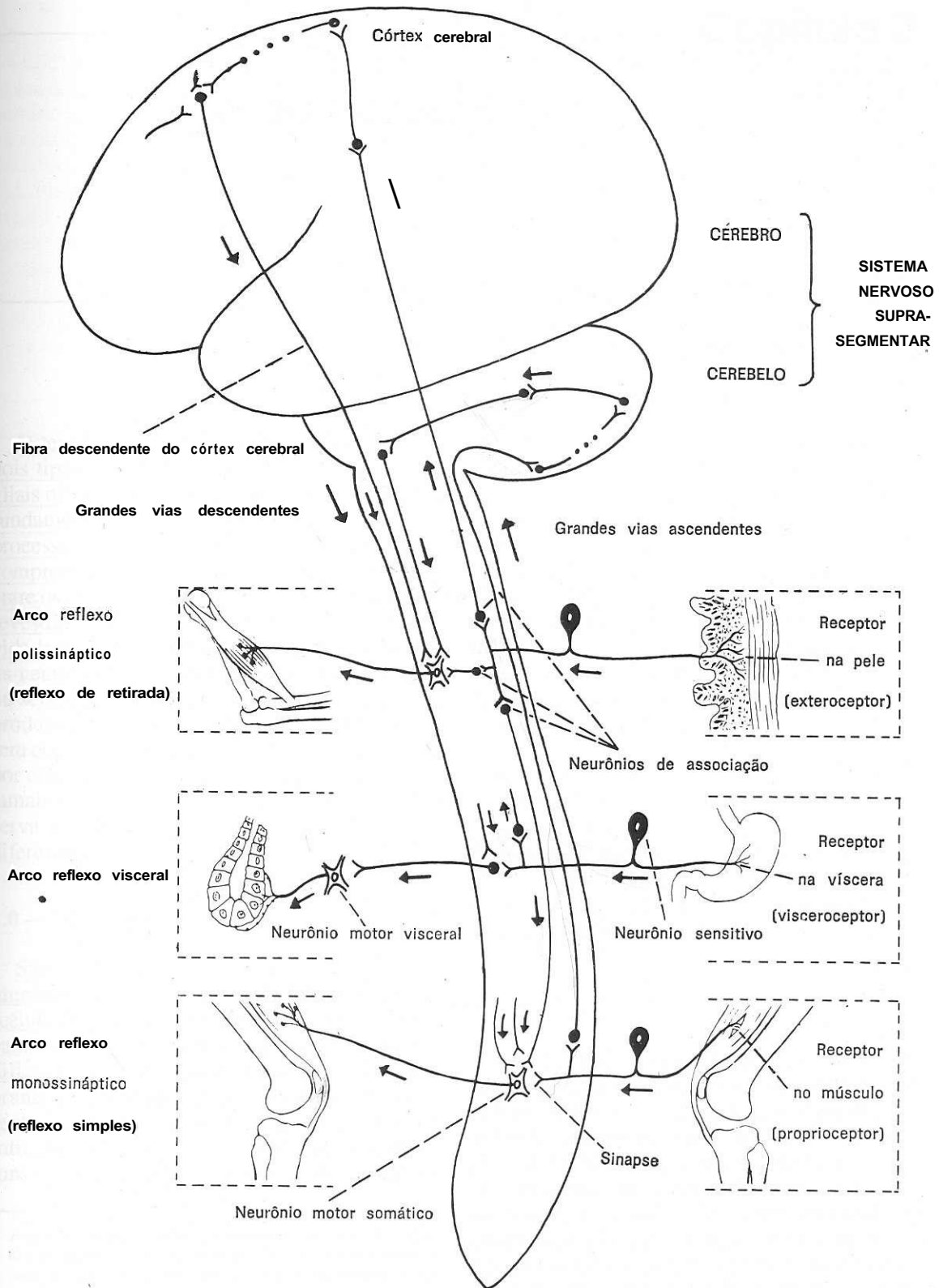



Fig. 2.8 — *Esquema simplificado da organização morfofuncionaldo sistema nervoso de um mamífero.*

Capítulo 3

Tecido Nervoso

Conceição R.S. Machado

0 tecido nervoso compreende basicamente dois tipos celulares: os neurônios e as células gliais ou neuróglia. O neurônio é a sua unidade fundamental, com a função básica de receber, processar e enviar informações. A neuróglia compreende células que ocupam os espaços entre os neurônios, com funções de sustentação, revestimento ou isolamento, modulação da atividade neuronal e defesa. Após a diferenciação, os neurônios dos vertebrados não se dividem, ou seja, após o nascimento geralmente não são produzidos novos neurônios. Aqueles que morrem como resultado de programação natural ou por efeito de toxinas, doenças ou traumatismos jamais serão substituídos*. Já a neuróglia conserva a capacidade de mitose após completa diferenciação.

1.0 — NEURÔNIOS

São células altamente excitáveis que se comunicam entre si ou com células efetuadoras (células musculares e secretoras), usando basicamente uma linguagem elétrica, qual seja, modificações do potencial de membrana. A membrana celular separa dois ambientes que apresentam composições iônicas próprias: o meio intracelular (citoplasma), onde predominam íons orgânicos com cargas negativas e potássio (K^+); e o meio extracelular, onde predominam sódio (Na^+) e cloro (Cl^-). As cargas elétricas dentro e fora da célula são responsáveis pelo estabelecimento dc um potencial elétrico de membrana. Na maioria dos neurônios, 0 potencial de membrana em repouso está cm torno de -60 a -70mV, com excesso de cargas negativas dentro da célula. Movimento de íons através da membrana permitem alterações deste potencial. Como se sabe, íons só atravessam a membrana através de canais iônicos, segundo o gradiente de concentração. Os canais iônicos são formados por proteína e caracterizam-se pela seletividade e, alguns deles, pela capacidade de fechar-se e abrir-se.

A maioria dos neurônios possui três regiões responsáveis por funções especializadas: *corpo celular, dendritos* (do grego, *déndron* = árvore) c *axônio* (do grego *áxon* = eixo), conforme esquematizado na Fig. 3.1.

1.1 — CORPO CELULAR

Contém núcleo e citoplasma com as organelas citoplasmáticas usualmente encontradas em outras células (Fig. 3.2). O núcleo é geralmente vesiculoso com um ou mais nucléolos evidentes (Fig. 3.3). Mas encontram-se também neurônios com núcleos densos, como é o caso dos núcleos dos grânulos do córtex cerebelar. O citoplasma do corpo celular recebe o nome dc *pericário*, termo que, às vezes, é usado como sinônimo de corpo celular. No pericário, salienta-se a riqueza em ribosomas, retículo endoplasmático granular e agranular e aparelho de

* *Fazem exceção os neurônios denominados grânulos, localizados no cerebelo c no bulbo olfatório, que podem aumentar durante a infância como parte do crescimento normal. Também no epitélio olfatório, os neurônios sensoriais primários são gerados durante toda a vida a partir dc células indiferenciadas.*

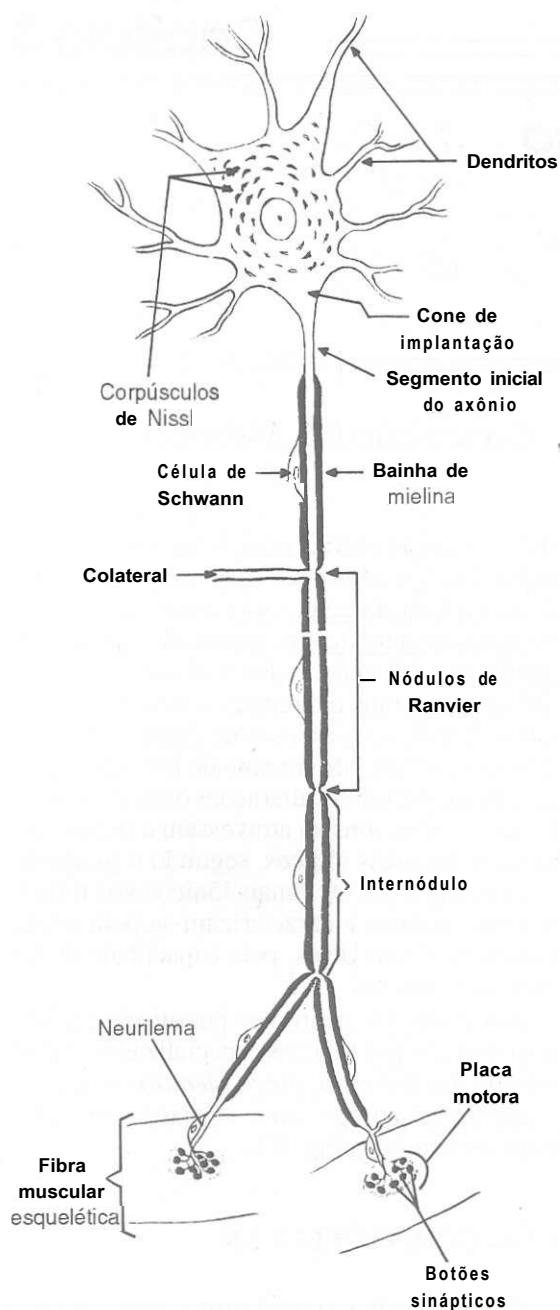



Fig. 3.1 — Desenho esquemático de um neurônio motor, mostrando o corpo celular, dendritos e o axônio que, após o segmento inicial, apresenta bainha de mielina, formada por célula de Schwann. O axônio, após ramificações, termina em placas mo- toras nas fibras musculares esqueléticas: em cada placa motora, observam-se vários botões sinápticos.

Golgi, ou seja, as organelas envolvidas em síntese (Fig. 3.2). Os ribosomas podem concentrar-se em pequenas áreas citoplasmáticas onde ocorrem livres ou aderidos a cisternas do retículo endoplasmático. Em conseqüência, à microscopia óptica, vêem-se grumos basófilos, conhecidos como corpúsculos de Nissl ou substância cromidial (Fig. 3.3). Mitocôndrias, abundantes e geralmente pequenas, estão distribuídas por todo o pericário, especialmente ao redor dos corpúsculos de Nissl, sem, no entanto, penetrá-los (Fig. 3.2). Microtúbulos e microfilamentos de actina são idênticos aos de células não-neuronais, mas os filamentos intermediários (8 a 11nm de diâmetro) diferem, por sua constituição bioquímica, dos das demais células; são específicos dos neurônios, razão pela qual se denominam neurofilamentos.

O corpo celular é o centro metabólico do neurônio, responsável pela síntese de todas as proteínas neuronais, bem como pela maioria dos processos de degradação e renovação de constituintes celulares, inclusive de membranas. As funções de degradação justificam a riqueza em lisosomas, entre os quais os chamados grânulos de lipofuscina. Estes são corpos lisosômicos residuais que aumentam em número com a idade.

A forma e o tamanho do corpo celular são extremamente variáveis, conforme o tipo de neurônio. Por exemplo, nas células de Purkinje do córtex cerebelar (Fig. 22.2), os corpos celulares são piriformes e grandes, com diâmetro médio de 50-80µm; nesse mesmo córtex, nos grânulos do cerebelo, são esferoidais, com diâmetro de 4-5µm; nos neurônios sensitivos dos gânglios espinhais são também esferoidais, mas com 60-120µm de diâmetro (Fig. 3.11); corpos celulares estrelados e piramidais (Fig. 3.3) são também comuns, ocorrendo, por exemplo, no córtex cerebral (Fig. 27.1). Do corpo celular partem os prolongamentos (dendritos e axônio), porém as técnicas histológicas de rotina (Fig. 3.3) mostram apenas o corpo neuronal e, nos maiores, as porções iniciais de seus prolongamentos. A visualização desses últimos exige técnicas especiais de coloração.

O corpo celular é, como os dendritos, local de recepção de estímulos, através de contatos sinápticos, conforme será discutido no item 2.0. Nas áreas da membrana plasmática do corpo neuronal que não recebem contatos sinápticos apóiam-se elementos gliais.

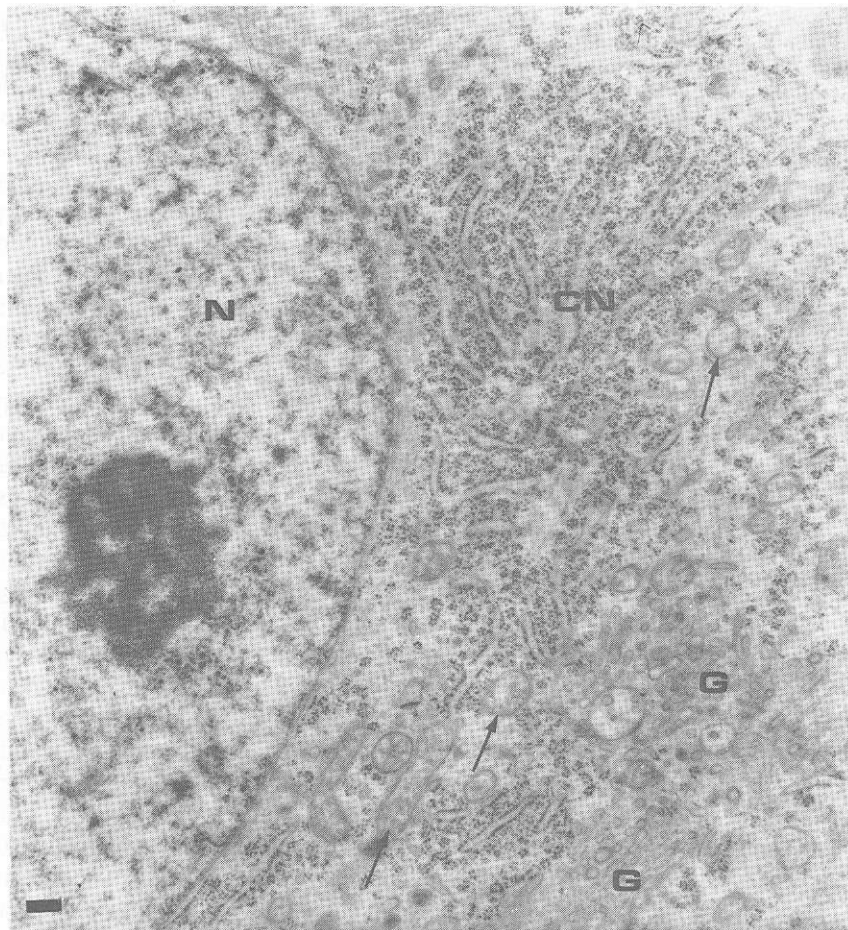



Fig. 3.2 — *Electromicrografia de parte do corpo celular de um neurônio do sistema nervoso autônomo, mostrando porção do núcleo (N) com um nucléolo c citoplasma onde se destacam um corpúsculo de Nissl (CN = concentração dc retículoendoplasmático granular e ribosomos), mitocôndrias (setas) c aparelho dc Golgi (G). Barra = 0,2µm. Cortesia de Elizabeth R.S. Camargos.*

1.2 — DENDRITOS

Geralmente são curtos (de alguns micrômetros a alguns milímetros de comprimento) e ramificam-se profusamente, à maneira de galhos de uma árvore, em ângulo agudo, originando dendritos de menor diâmetro. Apresentam contorno irregular. Podem apresentar os mesmos constituintes citoplasmáticos do pericário. No entanto, o aparelho de Golgi limita-se às porções mais calibrosas, próximas ao pericário. Já a substância de Nissl penetra nos ramos mais afastados, diminuindo gradativamente até ser excluída das menores divisões. Caracteristicamente, os microtúbulos são elementos predominantes nas porções iniciais e ramificações mais espessas.

Os dendritos são especializados em receber estímulos, traduzindo-os em alterações do potencial de repouso da membrana. Tais alterações envolvem entrada ou saída de determinados íons e podem expressar-se por pequena despolarização ou hiperpolarização. A despolarização é excitatória e significa redução da carga negativa do lado citoplasmático da membrana. A hiperpolarização é inibitória e significa aumento da carga negativa do lado de dentro da célula ou, então, aumento da positiva do lado de fora, conforme será explicado no item 2.2.4. Os distúrbios elétricos que ocorrem ao nível dos dendritos e do corpo celular constituem *potenciais graduáveis* (podem somar-se), também chamados *eletrotônicos*, de pequena amplitude (100uV-10mV), e que percorrem pequenas dis-

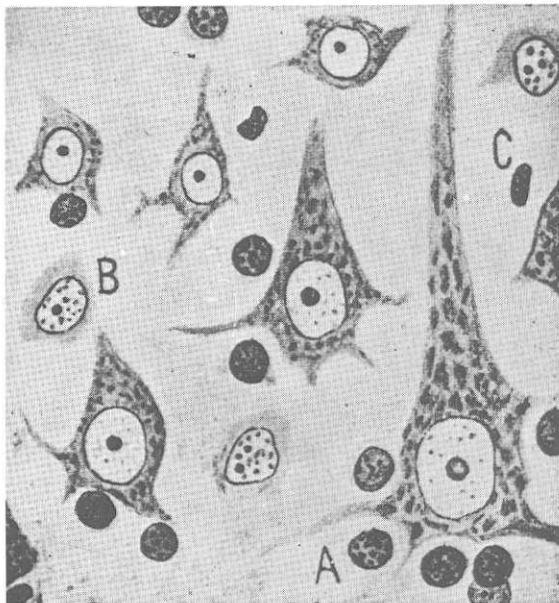



Fig. 3.3 — *Neurônios piramidais pequenos, médios e grandes do córtex cerebral, à microscopia óptica. Em cada neurônio, observe o núcleo claro com nucléolo evidente e o citoplasma repleto de corpúsculos de Nissl. Entre os neurônios aparecem núcleos de oligodendrócitos (A), astrócitos protoplasmáticos (B) e de microgliócitos (C) (segundo del Río Hortega).*

tâncias (1 a 2mm no máximo) até se extinguirem. Esses potenciais propagam-se em direção ao corpo e, neste, em direção ao cone de implantação do axônio.

1.3 — AXÔNIO

A grande maioria dos neurônios possui um axônio, prolongamento longo e fino que se origina do corpo ou de um dendrito principal, em região denominada *cone de implantação,* praticamente desprovida de substância cromidial (Fig. 3.1). O axônio apresenta comprimento muito variável, dependendo do tipo de neurônio, podendo ter, na espécie humana, de alguns milímetros a mais de um metro. É cilíndrico e, quando se ramifica, o faz em ângulo obtuso, originando colaterais de mesmo diâmetro do inicial. Estruturalmente, apresenta, além da membrana plasmática ou axolema, o citoplasma axônico ou axoplasma, contendo microtúbulos, neurofilamentos, microfilamentos, retículo endoplasmático agranular, mitocôndrias e vesículas.

O axônio é capaz de gerar, em seu *segmento inicial,* alteração do potencial de membrana, denominada *potencial de ação* ou *impulso nervoso,* ou seja, despolarização da membrana de grande amplitude (70-110mV)*, do tipo "tudo ou nada", capaz de repetir-se ao longo do axônio, conservando sua amplitude até atingir a terminação axônica. Portanto, o axônio é especializado em gerar e conduzir o potencial de ação. O local onde o primeiro potencial de ação é gerado denomina-se também *zona gatilho.* Tal especialização da membrana plasmática se deve à presença de canais de sódio e potássio sensíveis à voltagem (Fig. 3.4), isto é, canais iônicos que ficam fechados no potencial de repouso da membrana e se abrem quando despolarizações de pequena amplitude (os potenciais graduáveis referidos acima) os atingem. O potencial de ação originado na zona gatilho repete-se ao longo do axônio porque ele próprio origina distúrbio local eletrotônico que se propaga até novos locais ricos em canais de sódio e potássio sensíveis à voltagem (Fig. 3.5).

Os axônios, após emitir número variável de colaterais, geralmente sofrem arborização terminal. Através dessa porção terminal, estabelecem conexões com outros neurônios ou com células efetuadoras (Fig. 3.1), conforme será estudado no item 2.0. Alguns neurônios, entretanto, especializam-se em secreção. Seus axônios terminam próximos a capilares sangüíneos, que captam o produto de secreção liberado, geralmente um polipeptídeo. Neurônios desse tipo são denominados neurossecretores (Fig. 23.4) e ocorrem na região do cérebro denominada hipotálamo (Cap. 23, item 4.2).

1.4 — CLASSIFICAÇÃO DOS NEURÔNIOS QUANTO AOS SEUS PROLONGAMENTOS

A maioria dos neurônios possui vários dendritos e um axônio; por isso são chamados *multipolares* (Fig. 3.1). Nesses neurônios, conforme já descrito, os dendrites conduzem potenciais graduáveis em direção ao pericário, e este, em direção à zona gatilho, onde é gerado o potencial de ação que se propaga em direção

* *A despolarização equivalente a 70-110mV se deve à grande entrada de Na^+; segue-se a repolarização por saída de potássio. A volta às condições de repouso no que diz respeito às concentrações iônicas dentro e fora da célula ocorre pela ação da bomba de sódio e potássio.*

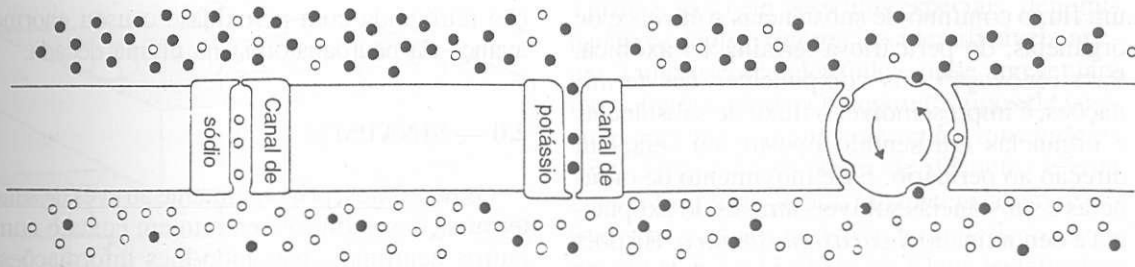



Fig. 3.4 — *Desenho esquemático de membrana axônica, mostrando canal de sódio e canal de potássio sensíveis à voltagem e a bomba de sódio e potássio (com setas), responsável pela reconstituição das concentrações corretas desses íons dentro e fora da célula, após a deflagração do potencial de ação. Os círculos vazios representam íons de sódio e os cheios, íons de potássio.*

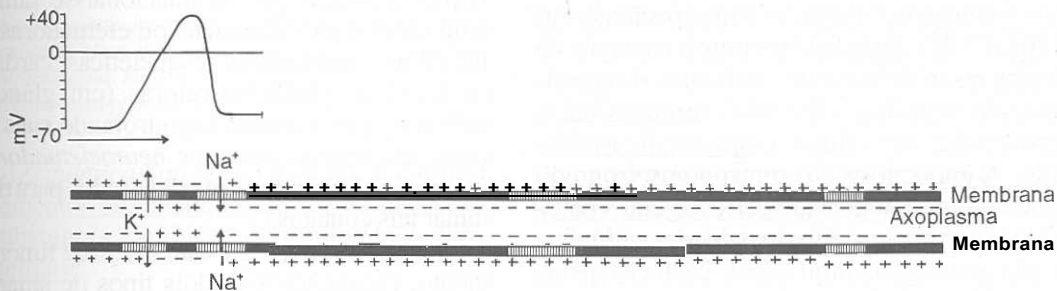



Fig. 3.5 — *Desenho esquemático de um segmento axônico, mostrando locais (linhas paralelas) ricos em canais de sódio e potássio sensíveis à voltagem, na membrana plasmática. Nos locais assinalados pelas setas, está ocorrendo despolarização maior que 100mV, seguida de repolarização, ou seja, um potencial de ação representado no canto superior esquerdo.*

à terminação axônica. Mas há também *neurônios bipolares* e *pseudo-unipolares**.

Nos neurônios bipolares (Fig. 1.6 B), dois prolongamentos deixam o corpo celular, um dendrito e um axônio. Entre eles estão os neurônios bipolares da retina e do gânglio espiral do ouvido interno. Nos neurônios pseudo-unipolares (Fig. 1.6 C), cujos corpos celulares se localizam nos gânglios sensitivos, apenas um prolongamento deixa o corpo celular, logo dividindo-se, à maneira de um T, em dois ramos, um periférico e outro central. O primeiro dirige-se à periferia, onde forma *terminação nervosa sensitiva*; o segundo dirige-se ao sistema nervoso central, onde estabelece contatos com outros neurônios. As terminações nervosas sensitivas (serão estudadas no Capítulo 11 B) são especializadas em transformar estímulos físicos ou químicos em potenciais elétricos graduáveis. Na neurogênese, os neurônios pseudo-unipolares apresentam, de início, dois prolongamentos, havendo fusão posterior de suas porções iniciais. Ambos os prolongamentos têm estrutura de axônio, embora o ramo periférico conduza o impulso nervoso em direção ao pericário, à maneira de um dendrito. Como um axônio, esse ramo é capaz de gerar potencial de ação. Nesse caso, entretanto, a zona gatilho situa-se perto da terminação nervosa sensitiva. Essa terminação recebe estímulos, originando potenciais graduáveis que, ao alcançar a zona gatilho, provocam o aparecimento de potencial de ação. Este é conduzido centripetamente, passando diretamente do prolongamento periférico ao prolongamento central.

* *Embora raros nos vertebrados, há também neurônios desprovidos de axônios, como é o caso das células amácrinas da retina, providas apenas de dendritos. Ao que se sabe, esses neurônios não são capazes de gerar potenciais de ação, porém suas pequenas dimensões permitem que potenciais graduáveis atinjam sinapses dendrodríticas.*

1.5 — FLUXO AXOPLASMÁTICO

Por não conter ribosomas, os axônios são incapazes de sintetizar proteínas. Portanto, toda proteína necessária à manutenção da integridade axônica, bem como às funções das terminações axônicas, deriva do pericário. Por outro lado, as terminações axônicas necessitam também de organelas como mitocôndrias e retículo endoplasmático agranular. Assim, é necessário

um fluxo contínuo de substâncias solúveis e de organelas, do pericário à terminação axônica. Para renovação dos componentes das terminações, é imprescindível o fluxo de substâncias e organelas em sentido oposto, ou seja, em direção ao pericário. Esse movimento de organelas e substâncias solúveis através do axoplasma é denominado *fluxo axoplasmático*. Há dois tipos de fluxo, que ocorrem paralelamente: *fluxo axoplasmático anterógrado,* em direção à terminação axônica, e *fluxo axoplasmático retrógrado,* em direção ao pericário*.

As terminações axônicas têm capacidade endocítica. Tal propriedade permite a captação de substâncias tróficas, como os fatores de crescimento de neurônios, que são carreadas até o corpo celular pelo fluxo axoplasmático retrógrado. A endocitose e o transporte retrógrado explicam também por que certos agentes patogênicos, como vírus e toxinas, podem atingir o sistema nervoso central, após captação pelas terminações axônicas periféricas.

O fluxo axoplasmático permitiu a idealização de várias técnicas neuroanatômicas baseadas em captação e transporte de substâncias que, posteriormente, possam ser detectadas. Assim, por exemplo, um aminoácido radioativo introduzido em determinado ponto da área motora do córtex cerebral é captado por pericários corticais e, pelo fluxo axoplasmático anterógrado, alcança a medula, onde pode ser detectado por radioautografia. Pode-se, então, concluir que existe uma via córtico-espinhal, ou seja, uma via formada por neurônios cujos pericários estão no córtex e os axônios terminam na medula. Outro modo de se estudar esse tipo de problema consiste no uso de macromoléculas que, após captação pelas terminações nervosas, são transportadas até o pericário graças ao fluxo axoplasmático retrógrado. Assim, introduzindo-se a enzima peroxidase em determinadas áreas da medula posteriormente ela poderá ser localizada, com técnica histoquímica, nos pericários dos neurônios corticais que formam a via córtico-espinhal já referida. O método de marcação retrógrada com peroxidase causou enorme avanço da neuroanatomia na última década.

* *O fluxo axoplasmático compreende duas fases: uma fase rápida, envolvendo transporte de organelas delimitadas por membrana (mitocôndrias, vesículas e elementos do retículo endoplasmático granular) que viajam com velocidade de 200-400mm por dia; a outra lenta, com velocidade de 1-4mm por dia, transportando proteínas do citoesqueleto c proteínas solúveis no citosol.*

2.0 — SINAPSES

Os neurônios, principalmente através dc suas terminações axônicas, entram em contato com outros neurônios, passando-lhes informações. Os locais de tais contatos são denominados *sinapses,* ou, mais precisamente, *sinapses interneuronais.* No sistema nervoso periférico, terminações axônicas podem relacionar-se também com células não neuronais ou efetuadoras, como células musculares (esqueléticas, cardíacas ou lisas) e células secretoras (em glândulas salivares, por exemplo), controlando suas funções. Os termos *sinapses neuroefetuadoras* e *junções neuroefetuadoras* são usados para denominar tais contatos.

Quanto à morfologia e ao modo de funcionamento, reconhecem-se dois tipos de sinapses: *sinapses elétricas* e *sinapses químicas.*

2.1 — SINAPSES ELÉTRICAS

São raras em vertebrados e exclusivamente interneuronais. Nessas sinapses, as membranas plasmáticas dos neurônios envolvidos entram em contato, conservando espaço entre elas de apenas 2-3nm. No entanto, há acoplamento iônico, isto é, ocorre comunicação entre os dois neurônios, através de canais iônicos concentrados em cada uma das membranas em contato. Esses canais projetam-se no espaço intercelular, justapondo-se de modo a estabelecer comunicações intercelulares, que permitem a passagem direta de pequenas moléculas, como íons, do citoplasma de uma das células para o da outra (Fig. 3.6). Tais junções servem para sincronizar a atividade de grupos de células e são encontradas em outros tecidos, como o epitelial, muscular liso e cardíaco, onde recebem o nome de junção de comunicação. Ao contrário das sinapses químicas, as sinapses elétricas não são polarizadas, ou seja, a comunicação entre os neurônios envolvidos se faz nos dois sentidos.

2.2 — SINAPSES QUÍMICAS

A grande maioria das sinapses interneuronais e todas as sinapses neuroefetuadoras são

Fig. 3.6 — *Desenho esquemático de uma sinapse elétrica. Partes das membranas plasmáticas de dois neurônios estão representadas por retângulos. Em cada uma, canais iônicos se justapõem, estabelecendo o acoplamento elétrico das duas células.*

sinapses químicas ou seja, a comunicação entre os elementos em contato depende da liberação de substância química, denominada *neurotransmissor.*

2.2.1 — Neurotransmissores e Vesículas Sinápticas

Entre os neurotransmissores conhecidos estão a *acetilcolina*, certos aminoácidos como a *glicina*, o *glutamato*, o *aspartato*, o *ácido gama-amino-butírico* ou *GABA* e as monoaminas. *dopamina*, *noradrenalina*, *adrenalina* e *histamina*. Sabe-se hoje que muitos peptídeos também podem funcionar como neurotransmissores, como por exemplo a *substância P*, em neurônios sensitivos, e os opióides. Esses últimos pertencem ao mesmo grupo químico da morfina e entre eles estão as *endorfinas* e as *encefalinas*.

Acreditava-se que cada neurônio sintetizasse apenas um neurotransmissor. Hoje sabe-se que pode haver coexistência de neurotransmissores clássicos (acetileolina, monoaminas e aminoácidos) com peptídeos*.

As sinapses químicas caracterizam-se por serem polarizadas, ou seja, apenas um dos dois elementos em contato, o chamado *elemento pré-sináptico*, possui o neurotransmissor. Este é armazenado em vesículas especiais, denominadas *vesículas sinápticas*, identificáveis apenas à microscopia eletrônica, onde apresentam morfologia variada. Os seguintes tipos de vesículas são mais comuns: *vesículas agranulares* (Fig. 3.8), com 30-60nm de diâmetro e com conteúdo elétron-lúcido (aparecem como se estivessem vazias); *vesículas granulares pequenas* (Figs. 3.7 e 13.3), de 40-70nm de diâmetro, apresentam conteúdo elétron-denso; *vesículas granulares grandes* (Figs. 3.7 e 11.6), com 70-150nm de diâmetro, também com conteúdo elétron-denso delimitado por halo elétron-lúcido; *vesículas opacas grandes*, com 80-180nm de diâmetro e conteúdo elétron-denso homogêneo preenchendo toda a vesícula.

O tipo de vesícula sináptica predominante no elemento pré-sináptico depende do neurotransmissor que o caracteriza. Quando o elemento pré-sináptico libera, como neurotransmissor principal, a acetileolina ou um aminoácido, ele apresenta, predominantemente, vesículas agranulares. As vesículas granulares pequenas contêm monoaminas; já as granulares grandes possuem monoaminas e/ou peptídeos e as opacas grandes, peptídeos.

Durante muito tempo, acreditou-se que as vesículas sinápticas eram produzidas apenas no pericário, sendo levadas até as terminações axônicas através do fluxo axoplasmático. Sabe-se hoje que elas podem também ser produzidas na própria terminação axônica por brotamento do retículo endoplasmático agranular**.

2.2.2 — Sinapses Químicas Interneuronais

Na grande maioria dessas sinapses, uma terminação axônica entra em contato com qualquer parte dc outro neurônio, formando-se, assim, *sinapses axodendríticas*, *axossomáticas* (com o pericário) ou *axoaxônicas*. No entanto, é possível que um dendrito ou mesmo o corpo celular seja o elemento pré-sináptico. Assim, podem ocorrer *sinapses dendrodendríticas* e, mais raramente, *sinapses dendrossomáticas*,

* *Por exemplo, em glândulas salivares, as fibras parassimpáticas eliminam acetilcolina e, numa segunda fase, peptídeo vasoativo; no sistema nervoso central, fibras dopaminérgicas podem conter neurotensina ou colecistoquinina; fibras serotoninérgicas, substância P ou encefalina; fibras GABA-érgicas, somatostatina.*

** *A descoberta desse fato foi feita pelo neuroanatomista brasileiro Angelo B.M. Machado, cm vesículas sinápticas granulares de fibras simpáticas da glândula pineal em desenvolvimento (Machado, A.B.M. — 1977 — Progress in Brain Research, 34:171-185).*

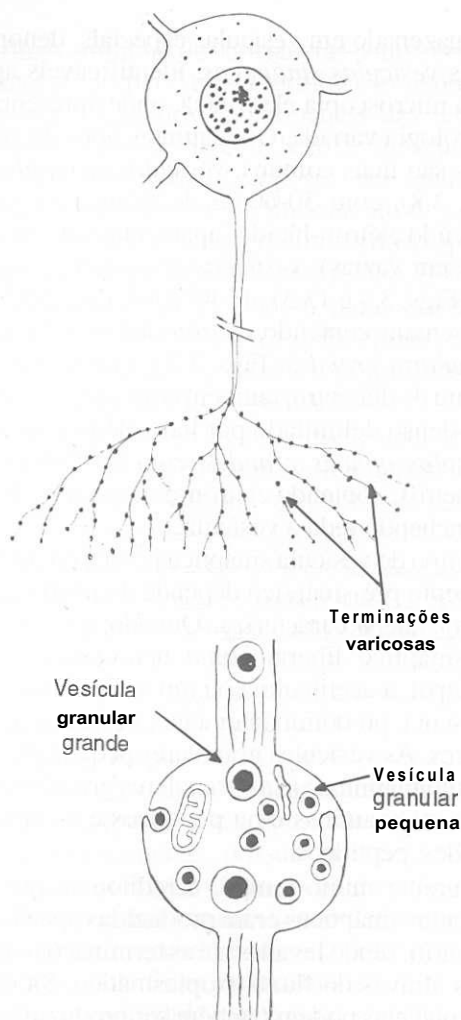



Fig. 3.7 — *Desenho esquemático de um neurônio noradrenérgico periférico, mostrando profusa ramificação do axônio para formar terminações longas e varicosas. Abaixo, uma varicosidade ampliada mostra esquematicamente seu conteúdo à microscopia eletrônica.*

somatossomáticas, somatodendríticas e mesmo *somatoaxônicas.*

Nas sinapses em que o axônio é o elemento pré-sináptico, os contatos se fazem não só através de sua ponta dilatada, denominada *botão terminal,* mas também com dilatações que podem ocorrer ao longo de toda a sua arborização terminal, os *botões sinápticos de passagem* (Fig. 22.4). Quando os axônios são curtos, podem emitir botões ao longo de praticamente todo o seu comprimento. No caso de sinapses axodendríticas, o botão sináptico pode entrar em contato com uma pequena projeção dendrítica em forma de espinho, a *espícula dendrítica* (Fig. 22.4).

As terminações axônicas de alguns neurônios, como os que usam uma monoamina como neurotransmissor (neurônios monoaminérgicos), são varicosas, isto é, apresentam dilatações simétricas e regulares, conhecidas como varicosidades, que têm o mesmo significado dos botões, ou seja, são locais pré-sinápticos onde se acumulam vesículas sinápticas (Fig. 3.7).

Uma sinapse química interneuronal compreende o *elemento pré-sináptico,* que armazena e libera o neurotransmissor, o *elemento pós-sináptico,* que contém receptores para o neurotransmissor e uma *fenda sináptica,* que separa as duas membranas sinápticas. Para descrição, tomemos uma sinapse axodendrítica, visualizada em microscópio eletrônico (Fig. 3.8 A). O elemento pré-sináptico é, no caso, um botão terminal que contém em seu citoplasma quantidade apreciável de vesículas sinápticas agranulares. Além disso, encontram-se algumas mitocôndrias, sáculos ou túbulos de retículo endoplasmático agranular, neurotúbulos, neurofilamentos e microfilamentos de actina. A membrana do botão, na face em aposição à membrana do dendrito, chama-se *membrana pré-sináptica.* Sobre ela se arrumam, a intervalos regulares, estruturas protéicas sob a forma de projeções densas que em conjunto formam a *densidade pré-sináptica.* As projeções densas têm disposição triangular e se unem por delicados filamentos, de modo que a densidade pré-sináptica é, na verdade, uma grade em. cujas malhas as vesículas sinápticas agranulares se encaixam (Fig. 3.8 B). Desse modo, essas vesículas sinápticas se aproximam adequadamente da membrana pré-sináptica para com ela se fundirem rapidamente, liberando o neurotransmissor por um processo de exocitose. A densidade pré-sináptica corresponde à *zona ativa* da sinapse, isto é, local no qual se dá, de maneira eficiente, a liberação do neurotransmissor na fenda sináptica. Sinapses com zona ativa são, portanto, *direcionadas.*

A fenda sináptica compreende espaço de 20-30nm que separa as duas membranas em oposição. Na verdade, esse espaço é atravessado por moléculas que mantêm firmemente unidas as duas membranas sinápticas.

O elemento pós-sináptico é formado pela *membrana pós-sináptica* e a *densidade pós-sináptica* (Fig. 3.8 A). Na membrana inserem-se

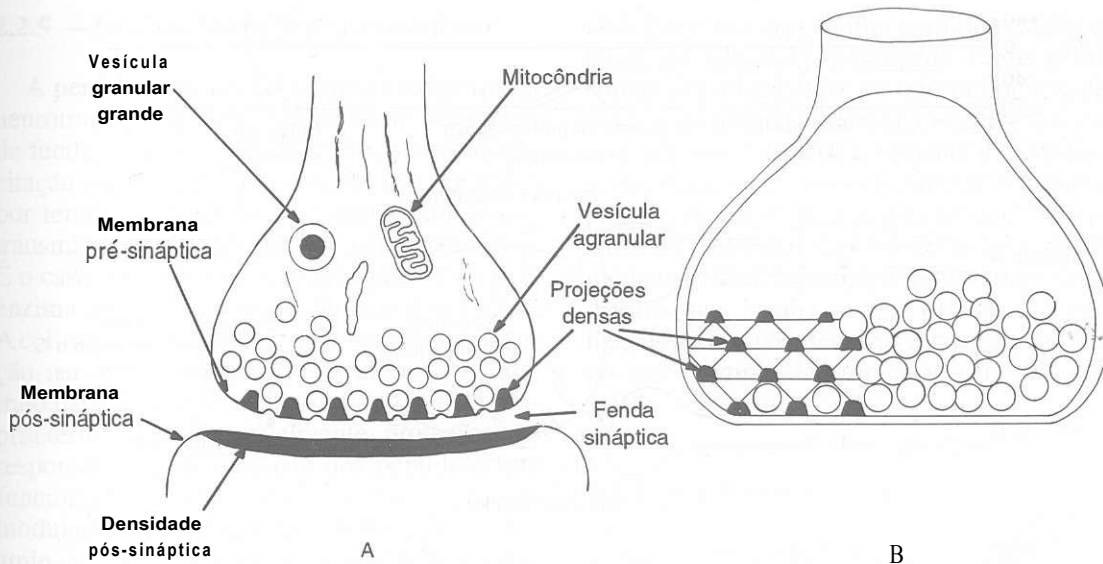



Fig. 3.8 — *Desenho esquemático da ultra-estrutura de uma sinapse química interneuronal axodendrítica. A — secção longitudinal, mostrando os componentes pré e pós-sinápticos; B — visão tridimensional do elemento pré-sináptico para visualização da grade pré-sináptica, que permite exocitose rápida das vesículas agranulares.*

os receptores específicos para o neurotransmissor. Esses receptores são formados por proteínas integrais que ocupam toda a espessura da membrana e se projetam tanto do lado externo como do lado citoplasmático da membrana. No citoplasma, junto à membrana, concentram-se moléculas relacionadas com a função sináptica. Tais moléculas, juntamente com os receptores, provavelmente formam a densidade pós-sináptica. A *transmissão sináptica* decorre da união do neurotransmissor com seu receptor na membrana pós-sináptica.

2.2.3 — Sinapses Químicas Neuroefetuadoras

Essas sinapses, também chamadas *junções neuroefetuadoras,* envolvem os axônios dos nervos periféricos e uma célula efetuadora não neuronal. Se a conexão se faz com células musculares estriadas esqueléticas, tem-se uma *junção neuroefetuadora somática;* se com células musculares lisas ou cardíacas ou com células glandulares, tem-se uma *junção neuroefetuadora visceral.* A primeira compreende as *placas motoras,* onde, em cada uma, o elemento pré-sináptico é terminação axônica de neurônio motor somático, cujo corpo se localiza na coluna anterior da medula espinhal ou no tronco encefálico. As junções neuroefetuadoras viscerais são os contatos das terminações nervosas dos neurônios do sistema nervoso autônomo simpático e parassimpático, cujos corpos celulares se localizam nos gânglios autonômicos.

As placas motoras são sinapses direcionadas, ou seja, em cada botão sináptico de cada placa há zonas ativas representadas, nesse caso, por acúmulos de vesículas sinápticas junto a barras densas que se colocam a intervalos sobre a membrana pré-sináptica; densidades pós-sinápticas com disposição característica também ocorrem (Fig. 11.4). As junções neuroefetuadoras viscerais, por sua vez, não são direcionadas, ou seja, não apresentam zonas ativas (Fig. 3.7) e densidades pós-sinápticas. As junções neuroefetuadoras serão estudadas, com mais detalhes, no Capítulo 11, item 3.0.

2.2.4 — Mecanismo da Transmissão Sináptica

Quando o impulso nervoso atinge a membrana do elemento pré-sináptico, origina pequena alteração do potencial de membrana capaz de abrir canais de cálcio, o que determina a entrada desse íon. O aumento de íons cálcio no interior do elemento pré-sináptico provoca uma série de fenômenos. Alguns deles culminam com a fusão de vesículas sinápticas com a membrana

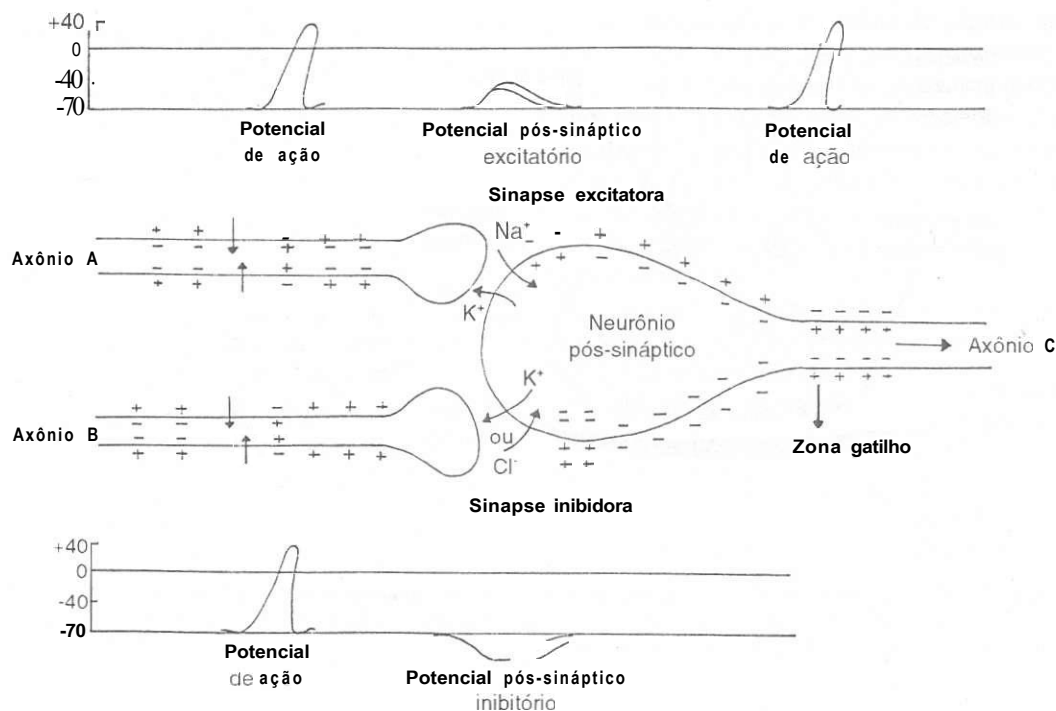



Fig. 3.9 — *Desenho esquemático, mostrando a seqüência de fenômenos desencadeados por potenciais de ação que atingem as terminações dos axônios A e B, envolvidos respectivamente em sinapse excitatória e inibitória. Os potenciais pós-sinápticos são sempre do tipo graduável.*

pré-sináptica*. Ocorre, assim, a liberação de neurotransmissor na fenda sináptica e sua difusão, até atingir seus receptores na membrana pós-sináptica. Um receptor pode ser, ele próprio, um canal iônico, que se abre quando o neurotransmissor se liga a ele (canal sensível a neurotransmissor). Um canal iônico deixa passar predominantemente ou exclusivamente um dado íon. Se esse íon normalmente ocorrer em maior concentração fora do neurônio, como o Na^+ e o Cl^-, há entrada. Se sua concentração for maior dentro do neurônio, como no caso do K^+, há saída. Evidentemente, tais movimentos iônicos modificam o potencial de membrana, causando uma pequena despolarização, no caso de entrada de Na^+, ou uma hiperpolarização, no caso de entrada de Cl" (aumento das cargas negativas do lado de dentro) ou de saída de K^+ (aumento da cargas positivas do lado de fora). Exemplificando, o receptor A do neurotransmissor GABA é ou está acoplado a um canal de cloro. Quando ativado pela ligação com GABA, há passagem de Cl" para dentro da célula com hiperpolarização (inibição). Já um dos receptores da acetilcolina, o chamado receptor nicotínico, é um canal de sódio. Quando ativado, há entrada de Na^+ com despolarização (excitação).

Quando o receptor não é um canal iônico. sua combinação com o neurotransmissor causa a formação, no citoplasma do elemento pós-sináptico, de uma nova molécula, chamada *segundo mensageiro*. Esse segundo mensageiro é que efetuará modificações na célula pós-sináptica**.

Cada neurônio pode receber de 1.000 a 10.000 contatos sinápticos em seu corpo e dendritos. Os potenciais graduáveis pós-sinápticos excitatórios e inibitórios devem ser somados ou integrados. A região integradora desses potenciais é o cone de implantação do axônio ou está próxima dele. Se na zona gatilho chegar uma voltagem no limiar de excitabilidade do neurônio, por exemplo, despolarização de 15mV, gera-se um potencial de ação (Fig. 3.9).

---

* *A fusão de vesículas sinápticas com a membrana pré-sináptica pressupõe um mecanismo para evitar o aumento da quantidade de membrana pré-sináptica. De fato, há internalização de membrana sob a forma de vesículas que podem ser reutilizadas ou enviadas para o pericário.*

** *Como exemplo de molécula que pode atuar como segundo mensageiro, cita-se o AMP cíclico.*

2.2.5 — Inativação do Neurotransmissor

A perfeita função das sinapses exige que o neurotransmissor seja rapidamente removido da fenda sináptica. Do contrário, ocorreria excitação ou inibição do elemento pós-sináptico por tempo prolongado. A remoção do neurotransmissor pode ser feita por ação enzimática. É o caso da acetilcolina, que é hidrolisada pela enzima acetilcolinesterase em acetato e colina. A colina é imediatamente captada pela terminação nervosa colinérgica servindo como substrato para síntese de nova acetileolina pela própria terminação. Provavelmente, proteases são responsáveis pela remoção dos peptídeos que funcionam como neurotransmissores ou neuromoduladores. Já no caso das monoaminas e dos aminoácidos, o principal mecanismo de inativação é a recaptação do neurotransmissor pela membrana plasmática do elemento pré-sináptico, através de mecanismo ativo e eficiente (bomba de captação). Essa captação pode ser bloqueada por drogas. Assim, a captação de monoaminas é facilmente bloqueada por cocaína, causando distúrbios psíquicos, porque a monoamina permanecerá acessível aos receptores de maneira continuada. Uma vez dentro da terminação nervosa, o neurotransmissor pode ser reutilizado ou inativado. Exemplificando, quando uma monoamina é captada, parte é bombeada para dentro de vesículas e parte é metabolizada pela enzima monoaminaoxidase (MAO)*.

3.0 — NEURÓGLIA

Tanto no sistema nervoso central como no sistema nervoso periférico, os neurônios relacionam-se com células coletivamente denominadas neuróglia, glia ou gliócitos. São as células mais freqüentes do tecido nervoso, podendo a proporção entre neurônios e células gliais variar de 1:10 a 1:50.

3.1 — NEURÓGLIA DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL

No sistema nervoso central, a neuróglia compreende: *astrócitos, oligodendrócitos, microgliócitos* e um tipo de glia com disposição epitelial, as *células ependimárias*. Essas células, com provável exceção dos microgliócitos, derivam-se do neuroectoderma. Os astrócitos e oligodendrócitos são coletivamente denominados como macróglia e os microgliócitos como micróglia. A macróglia e a micróglia colocam-se entre os neurônios e possuem massa citoplasmática distribuída principalmente em prolongamentos que, à microscopia óptica, são visualizados apenas com técnicas especiais, envolvendo, por exemplo, impregnação pela prata (Fig. 3.10).

3.1.1 — Astrócitos

Seu nome vem da forma semelhante a estrela. São abundantes e caracterizados por inúmeros prolongamentos, restando pequena massa citoplasmática ao redor do núcleo esférico ou ovóide e vesiculoso (Fig. 3.3). Reconhecem-se dois tipos: *astrócitos protoplasmáticos*, localizados na substância cinzenta, e *astrócitos fibrosos*, encontrados na substância branca. Os primeiros distinguem-se por apresentar prolongamentos mais espessos e curtos que se ramificam profusamente (Fig. 3.10A); já os prolongamentos dos astrócitos fibrosos são finos e longos e ramificam-se relativamente pouco (Fig. 3.10B). Ao microscópio eletrônico, os astrócitos apresentam as organelas usuais, mas caracterizam-se pela riqueza em filamentos intermediários que, embora morfologicamente semelhantes aos observados em outras células, são constituídos por polipeptídeo específico da glia. Nos astrócitos fibrosos, esses filamentos são mais abundantes.

Ambos os tipos de astrócitos, através de expansões conhecidas como *pés vasculares*, apóiam-se em capilares sangüíneos (Fig. 3.10B). Seus processos contatam também os corpos neuronais, dendritos e axônios e, de maneira especial, envolvem as sinapses, isolando-as. Têm, portanto, funções de sustentação e isolamento de neurônios.

Os astrócitos são também importantes para a função neuronal, uma vez que participam do controle dos níveis de potássio extraneuronal, captando esse íon c, assim, ajudando na manutenção de sua baixa concentração extracelular. Compreendem o principal sítio de armazenagem de glicogênio no sistema nervoso central,

* *No caso das monoaminas e dos aminoácidos, pequena parte é removida do local sináptico por captação pelos capilares sangüíneos e pelos astrócitos.*

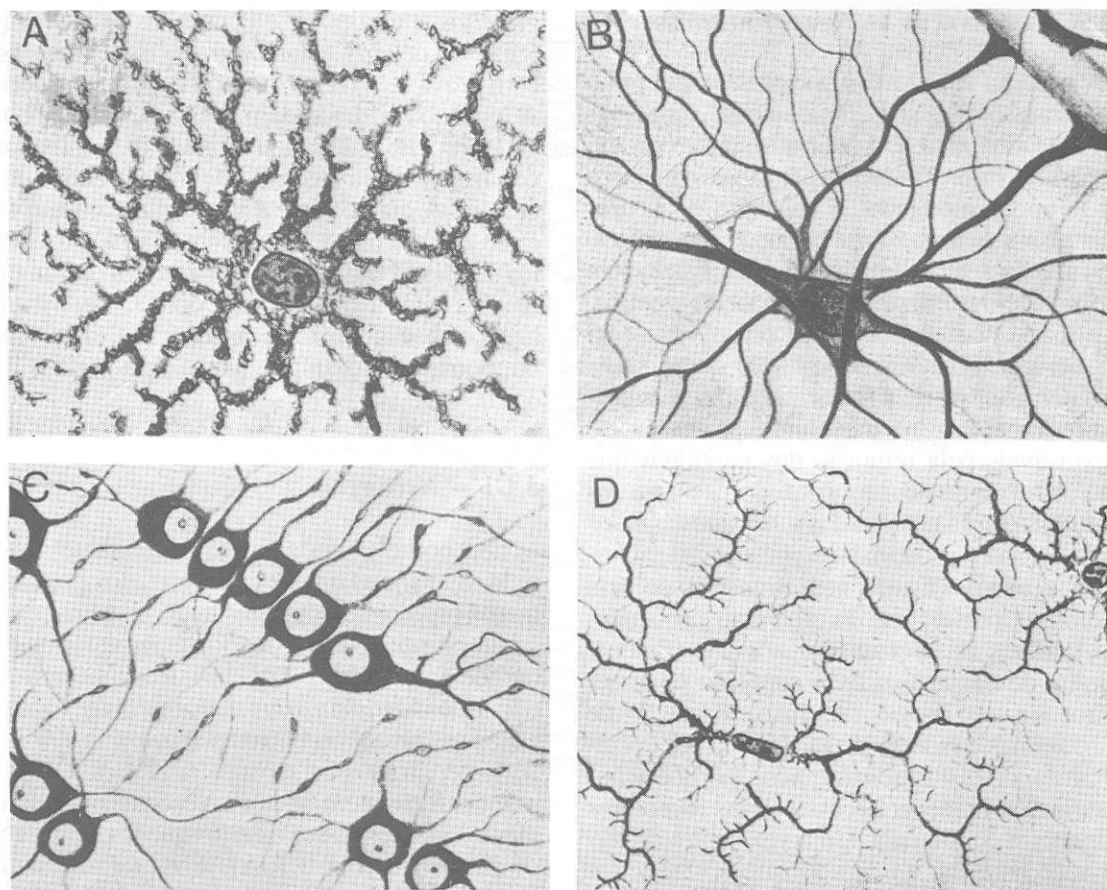



Fig. 3.10 — *Aspecto ao microscópio óptico da neuróglia do sistema nervoso centrai após impregnação metálica: A — astrócito protoplasmático; B — astrócito fibroso; C — oligodendrócitos; D — microgliócitos (segundo del Río Hortega).*

havendo evidências de que podem liberar glicose para uso dos neurônios.

Após injúria, os astrócitos aumentam localmente por mitoses e ocupam áreas lesadas à maneira de cicatriz. Em caso de degeneração axônica, adquirem função fagocítica ao nível das sinapses, ou seja, qualquer botão sináptico em degeneração é internalizado por astrócitos.

Na vida embrionária, precursores de astrócitos que se estendem da superfície dos ventrículos cerebrais à superfície do cérebro revestida pela pia-máter fornecem arcabouço para a migração de neurônios.

3.1.2 — Oligodendrócitos

São menores que os astrócitos e possuem poucos prolongamentos (Fig. 3.10 C), que também podem formar pés vasculares. Em secções histológicas, apresentam núcleo menor e mais condensado que o dos astrócitos (Fig. 3.3). Conforme sua localização, distinguem-se dois tipos: *oligodendrócito satélite* ou perineuronal, situado junto ao pericário e dendritos; e *oligodendrócito fascicular,* encontrado junto às fibras nervosas. Os oligodendrócitos fasciculares são responsáveis pela formação da bainha de mielina em axônios do sistema nervoso central, como será discutido no item 4.

3.1.3 — Microgliócitos

São células pequenas e alongadas com núcleo denso também alongado e de contorno irregular (Fig. 3.3); possuem poucos prolongamentos, que partem das suas extremidades (Fig. 3.10 D). São encontrados tanto na substância branca como na cinzenta e apresentam funções fagocíticas. Alguns autores acreditam que os microgliócitos de tecido nervoso normal sejam

apenas células pouco diferenciadas, capazes de transformarem-se em astrócitos ou oligodendrócitos. Entretanto, inúmeras evidências indicam serem os microgliócitos de origem mesodérmica ou, mais precisamente, de monócitos, equivalendo no sistema nervoso central a um tipo de macrófago, com funções de remoção, por fagocitose, de células mortas, detritos e microorganismos invasores. Aumentam em caso de injúria e inflamação, especialmente por novo aporte de monócitos, vindos pela corrente sangüínea. Nesse caso, são denominados microgliócitos reativos, podendo estar repletos de vacúolos digestivos, contendo restos celulares.

3.1.4 — Células Ependimárias

São remanescentes do neuroepitélio embrionário, sendo coletivamente designadas *epêndima* ou *epitélio ependimário*. São células cuboidais ou prismáticas que forram, como epitélio de revestimento simples, as paredes dos ventrículos cerebrais, do aqueducto cerebral e do canal central da medula espinhal. Apresentam em sua face luminal inúmeras microvilosidades e geralmente são ciliadas. Cada célula ependimária possui um prolongamento ou processo basal que penetra o tecido nervoso ao redor das cavidades. Nos ventrículos cerebrais, um tipo de célula ependimária modificada recobre tufos de tecido conjuntivo, rico em capilares sangüíneos, que se projetam da pia-máter, constituindo os *plexos corióideos* responsáveis pela formação do líquido cérebro-espinhal.

3.2 — NEURÓGLIA DO SISTEMA NERVOSO PERIFÉRICO

A neuróglia periférica compreende as *células satélites* ou *anfícitos* e as *células de Schwann*, derivadas da crista neural. Na verdade, essas células podem ser consideradas como um único tipo celular que pode expressar dois fenótipos, dependendo da parte do neurônio com que se relaciona. Assim, as células satélites envolvem pericários dos neurônios dos gânglios sensitivos e do sistema nervoso autonômo: as células de Schwann circundam os axônios, formando seus envoltórios, quais sejam, a bainha de mielina e o neurilema (Fig. 3.1). Ao contrário dos gliócitos do sistema nervoso central, apresentam-se circundadas por membrana basal.

As células satélites geralmente são lamelares ou achatadas dispostas de encontro aos neurônios. Por isso, histologicamente, delas vêem-se praticamente apenas os núcleos esferoidais ou ovóides e relativamente densos (Fig. 3.11). As células de Schwann têm núcleos ovóides ou alongados, com nucléolos evidentes. Em caso de injúria de nervos, as células de Schwann desempenham importante papel na regeneração das fibras nervosas, fornecendo substrato que permite o apoio e o crescimento dos axônios em regeneração. Além do mais, nessas condições apresentam capacidade fagocítica e podem secretar fatores tróficos que, captados pelo axônio e transportados ao corpo celular, vão desencadear ou incrementar o processo de regeneração axônica. Para mais informações sobre o papel das células de Schwann na regeneração de fibras nervosas periféricas, veja Capítulo 11A, item 3.0.

4.0 — FIBRAS NERVOSAS

Uma fibra nervosa compreende um axônio e, quando presentes, seus envoltórios de origem glial. O principal envoltório das fibras nervosas é a bainha de mielina, que funciona como isolante elétrico. Quando envolvidos por bainha de mielina, os axônios são denominados *fibras nervosas mielínicas*. Na ausência de mielina,

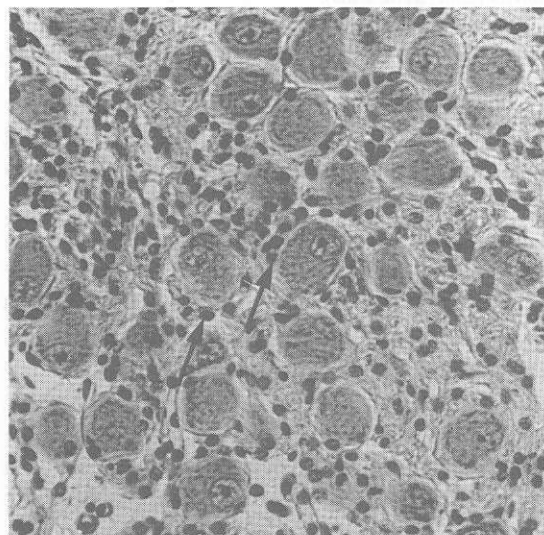



Fig. 3.11 — *Fotomicrografia mostrando os corpos celulares esferoidais de neurônios de um gânglio sensitivo e núcleos de células satélites (setas).*

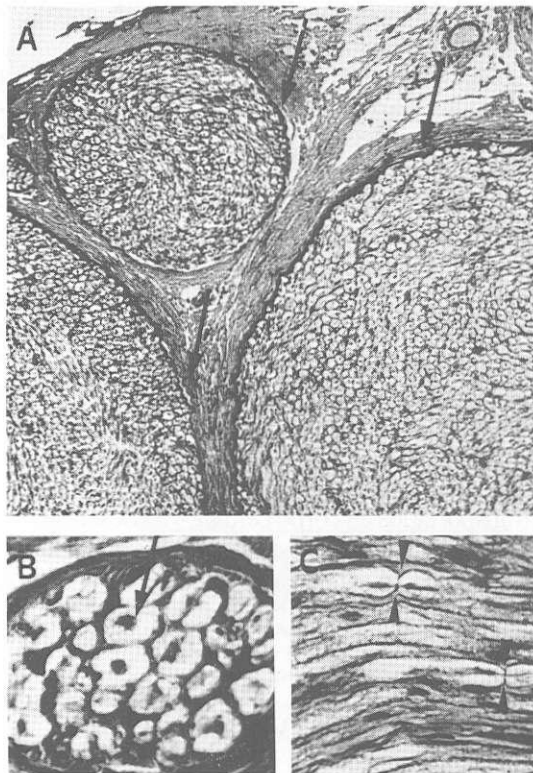



Fig. 3.12 — *Aspectos histológicos do nervo isquiático do cão. A — Um pequeno fascículo e parte de dois outros envolvidos por perineuro (setas) contêm fibras nervosas mielínicas. Os fascículos são mantidos juntos pelo epineuro. B — Detalhe de um fascículo, mostrando fibras nervosas mielínicas cortadas transversalmente: observe o axônio (seta) e a imagem negativa da mielina dissolvida durante a preparação. C — Fibras nervosas mielínicas cortadas longitudinalmente para mostrar nódulos de Ranvier (cabeças de setas).*

denominam-se *fibras nervosas amielínicas*. Ambos os tipos ocorrem tanto no sistema nervoso periférico como no central, sendo a bainha de mielina formada por células de Schwann, no periférico, e por oligodendrócitos, no central.

No sistema nervoso central, distinguem-se, macroscopicamente, as áreas contendo basicamente fibras nervosas mielínicas e neuróglia daquelas onde se concentram os corpos dos neurônios, fibras amielínicas, além da neuróglia Essas áreas são denominadas, respectivamente, *substância branca* e *substância cinzenta*, com base em sua cor *in vivo*. No sistema nervoso central, as fibras nervosas reúnem-se em feixes denominados tractos ou fascículos. No sistema nervoso periférico também agrupam-se em feixes, formando os nervos (Fig. 3.12).

4.1 — FIBRAS NERVOSAS MIELÍNICAS

No sistema nervoso periférico, logo após seus segmentos iniciais, cada axônio é circundado por células de Schwann, que se colocam a intervalos ao longo de seu comprimento. Nos axônios motores e na maioria dos sensitivos, essas células formam duas bainhas, a de mielina e o neurilema. Para isso, cada célula de Schwann forma um curto cilindro de mielina, dentro do qual caminha o axônio; o restante da célula fica completamente achatado sobre a mielina, formando a segunda bainha, o neurilema. Essas bainhas interrompem-se a intervalos mais ou menos regulares para cada tipo de fibra. Essas interrupções são chamadas de *nódulos de Ranvier* (Figs. 3.1 e 3.12 C) e cada segmento dc fibra situado entre eles é denominado *internódulo* (Fig. 3.1). Cada internódulo compreende a região ocupada por uma célula de Schwann e tem cerca de 1 a 1,5μm de comprimento. Assim, uma fibra mielínica de um nervo longo, como o isquiático, que tem 1 a 1,5m de comprimento, apresenta aproximadamente mil nódulos de Ranvier. Portanto, cerca de mil células de Schwann podem participar da mielinização dc um único axônio. Ao nível da arborização terminal do axônio, a bainha de mielina desaparece, mas o neurilema continua até as proximidades das terminações nervosas motoras ou sensitivas (Fig. 3.1).

No sistema nervoso central, prolongamentos de oligodendrócitos provêem a bainha de mielina. No entanto, os corpos dessas células ficam a uma certa distância do axônio, de modo que não há formação de qualquer estrutura semelhante ao neurilema.

Por seu conteúdo predominantemente lipídico, a preservação da mielina em cortes histológicos exige métodos especiais como a fixação por tetróxido dc ósmio. Nesse caso, aparece corada em negro. Nos cortes histológicos, de rotina, os componentes lipídicos se dissolvem, restando apenas uma trama de material protéico no local da mielina (Fig. 3.12 B).

Ao microscópio eletrônico, a bainha de mielina é formada por uma série dc lamelas concêntricas, originadas dc voltas de membrana da célula glial ao redor do axônio, como será detalhado no próximo item.

A bainha de mielina, como a própria membrana plasmática que a origina, é composta

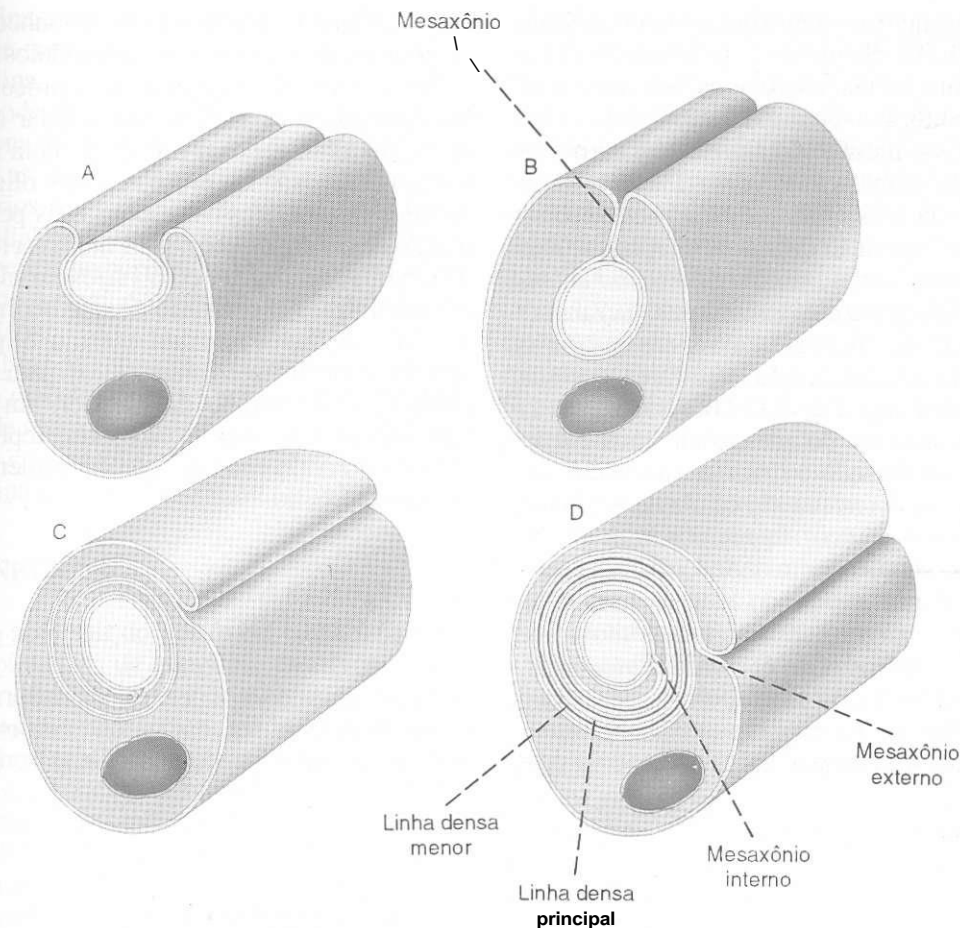



Fig. 3.13 — *Esquema mostrando as quatro etapas sucessivas da formação da bainha de mielina pela célula de Schwann: A — relação inicial entre o axônio e a célula de Schwann; B — formação do mesaxônio; C — alongamento do mesaxônio: D — mielina formada.*

basicamente de lípidcs e proteínas, salientando-sc a riqueza em fosfolípides. Contudo, apresenta componentes particulares a ela, como a proteína básica principal da mielina, encontrada em grande quantidade no sistema nervoso central*.

Por ser isolante, a bainha de mielina permite condução mais rápida do impulso nervoso. Ao longo dos axônios mielínicos, os canais de sódio e potássio sensíveis à voltagem encontram-se apenas ao nível dos nódulos de Ranvier. A condução do impulso nervoso é, portanto, saltatória, ou seja, potenciais de ação só ocorrem nos nódulos de Ranvier. Isso é possível dado o caráter isolante da bainha de mielina, que permite à corrente eletrotônica provocada por cada potencial de ação percorrer todo o internódulo sem extinguir-se. O comprimento do internódulo e a espessura da bainha de mielina, embora constantes para cada tipo de fibra, podem variar de acordo com a espessura do axônio. Quanto maiores o internódulo e as espessuras do axônio e da mielina, mais rápida é a condução. Para mais informações, veja Capítulo 11 C, item 2.0.

* *No sistema nervoso periférico, a mielina apresenta constituição protéica diferente daquela do sistema nervoso central.*

4.1.1 — Mielinização

O processo de formação da bainha de mielina, ou mielinização, ocorre durante a última parte do desenvolvimento fetal e durante o primeiro ano pós-natal. A compreensão desse processo ajuda a entender a estrutura dessa bainha.

As diversas etapas da mielinização no sistema nervoso periférico podem ser seguidas na Fig. 3.13, onde é representada uma das várias células de Schwann que se colocam ao longo dos axônios. Em cada célula de Schwann for-

ma-se um sulco ou goteira que contém o axônio (Fig. 3.13 A). Segue-se o fechamento dessa goteira com formação de uma estrutura com dupla membrana chamada *mesaxônio* (Fig. 3.13 B). Esse mesaxônio alonga-se e enrola-se ao redor do axônio várias vezes (Fig. 3.13 C), e o citoplasma é expulso entre as voltas. Acontece, então, aposição das faces citoplasmáticas da membrana, com fusão, surgindo a *linha densa principal,* ou *periódica,* contínua, facilmente identificada nas secções transversais da bainha de mielina à microscopia eletrônica por sua elétron-densidade (Fig. 3.13 D). As faces externas da membrana do mesaxônio também se encontram formando a *linha densa menor,* ou *interperíodo*. O restante da célula de Schwann (citoplasma e núcleo) forma o neurilema. O mesaxônio persiste tanto do lado axônico *(mesaxônio interno),* como do lado do neurilema *(mesaxônio externo).* Em alguns pontos, formam-se as *incisuras de Schmidt-Lantermann,* que representam um conjunto de locais em que o citoplasma não foi expulso quando da formação da linha densa principal. Terminado o processo ao longo de toda a fibra, reconhecem-se os nódulos de Ranvier e os internódulos.

No sistema nervoso central, o processo de mielinização é essencialmente similar ao que ocorre na fibra nervosa periférica, com a diferença de que são os processos dos oligodendrócitos fasciculares os responsáveis pela formação de mielina. A Fig. 3.14 mostra a relação de um oligodendrócito com vários axônios que ele mieliniza. Ao contrário do que ocorre com a célula de Schwann, um mesmo oligodendrócito pode prover internódulos para 20-30 axônios. Cada nódulo de Ranvier, em fibras nervosas do sistema nervoso central, representa então o intervalo entre dois prolongamentos de oliogodendrócito.

4.2 — FIBRAS NERVOSAS AMIELÍNICAS

No sistema nervoso periférico, há fibras nervosas do sistema nervoso autônomo (as fibras pós-ganglionares) e algumas fibras sensitivas

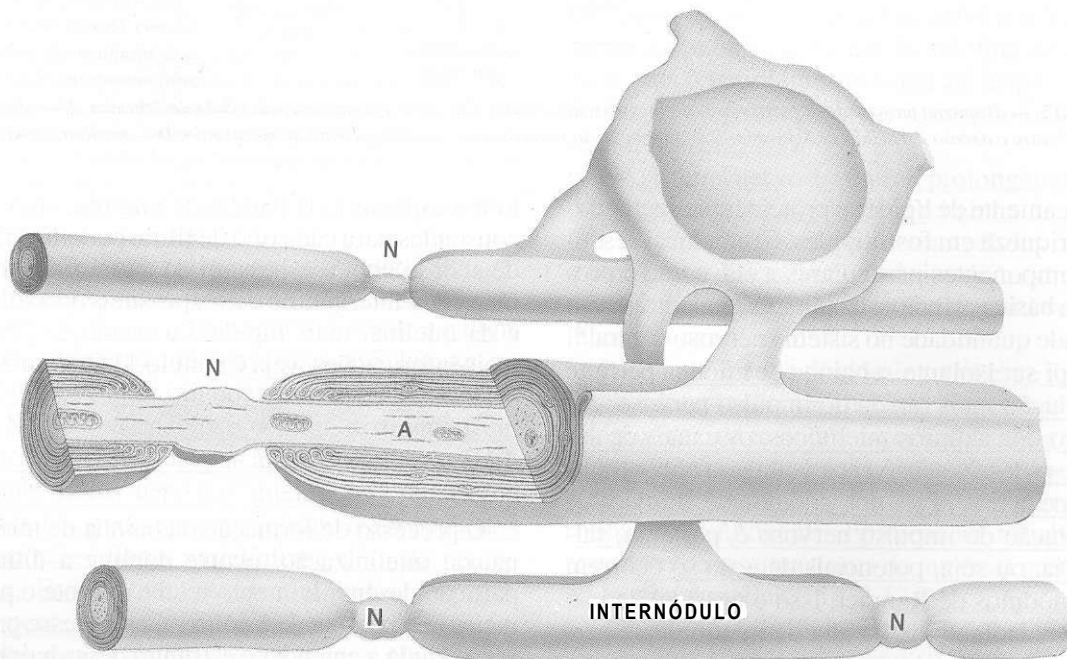



Fig. 3.14 — *Desenho esquemático mostrando como prolongamentos de um oligodendrócito formam as bainhas de mielina (internódulos) de várias fibras nervosas, no sistema nervoso central. No canto superior direito vê-se a superfície externa do oligodendrócito (N = nódulo de Ranvier; A = axônio).*

muito finas, que se envolvem por células de Schwann (neurilema), sem que haja formação de mielina. Cada célula de Schwann nessas fibras pode envolver em invaginações de sua membrana até 15 axônios. No sistema nervoso central, as fibras amielínicas não apresentam envoltórios verdadeiros, ou seja, jamais uma célula glial envolve um axônio, à semelhança do que ocorre no periférico. Prolongamentos de astrócitos podem, no entanto, tocar os axônios amielínicos.

As fibras amielínicas conduzem o impulso nervoso mais lentamente, pois os conjuntos de canais de sódio e potássio sensíveis à voltagem não têm como se distanciar, ou seja, a ausência de mielina impede a condução saltatória.

5.0 — NERVOS

Logo após sair do tronco encefálico, da medula espinhal ou de gânglios sensitivos, as fibras nervosas motoras e sensitivas reúnem-se em feixes que se associam a estruturas conjuntivas (libras colágenas), constituindo nervos espinhais c cranianos que serão estudados detalhadamente nos Capítulos 11 e 12. Aqui, cabe o estudo de sua estrutura (Fig. 3.12).

Os grandes nervos, como o isquiático, o radial, o mediano e outros, são mielínicos, isto é, a maior parte de suas fibras são mielínicas. Tais nervos apresentam um envoltório de tecido conjuntivo rico em vasos, denominado *epineuro.* No seu interior, colocam-se as fibras nervosas organizadas em fascículos. O epineuro com seus vasos penetra entre os fascículos. No entanto, cada fascículo é delimitado pelo *perineum,* que compreende tecido conjuntivo denso ordenado e células cpiteliais lamelares ou achatadas, que formam várias camadas entre esse tecido conjuntivo e as fibras nervosas. Entre as camadas de células epiteliais perineurais há também fibras colágenas. Geralmente, à microscopia óptica, identifica-se apenas o componente conjuntivo do perineuro (Fig. 3.12), dado o grau de achatamento das células epiteliais e em razão da presença de fibras colágenas entre elas. As células epiteliais perineurais são, contudo, facilmente identificadas à microscopia eletrônica. Unem-se uma às outras por junções íntimas ou de oclusão e assim isolam as fibras nervosas do contato com o líquido intersticial do epineuro e adjacências. Dentro de cada fascículo, delicadas fibrilas colágenas (colágeno tipo III), também denominadas fibras reticulares, formam o *endoneuro,* que envolve cada fibra nervosa. O endoneuro limita-se internamente pela membrana basal da célula de Schwann, visualizada apenas à microscopia eletrônica.

À medida que o nervo se distancia de sua origem, os fascículos, com sua integridade preservada, o abandonam para entrarem nos órgãos a serem inervados. Assim, encontram-se nervos mais finos formados por apenas um fascículo e seu envoltório perineural.

Um nervo mielínico pode conter em seu interior algumas fibras amielínicas. Feixes de fibras amielínicas podem também constituir delicados nervos ou troncos nervosos amielínicos.

Os capilares sangüíneos encontrados no endoneuro são semelhantes aos do sistema nervoso central e, portanto, capazes de selecionar as moléculas que entram em contato com as fibras nervosas. Assim, no interior dos fascículos, tem-se uma barreira hematoneural semelhante à barreira hematoencefálica, a ser estudada no Capítulo 10. No entanto essa barreira só é efetiva graças ao perineuro epitelial, que isola o interior do fascículo.

É bom lembrar que, ao nível das terminações nervosas sensoriais livres, das placas motoras e das terminações autonômicas, as fibras nervosas perdem seus envoltórios e não são protegidas por barreiras, como ocorre ao longo dos nervos, podendo, em conseqüência, sofrer a ação de fatores lesivos. Além do mais, bacilos como o da hanseníase podem atingir os nervos a partir das terminações, causando degeneração de fibras nervosas.

Capítulo 4

Anatomia Macroscópica da Medula Espinhal e seus Envoltórios

1.0 — GENERALIDADES

Etimologicamente, medula significa miolo e indica o que está dentro. Assim, temos medula óssea dentro dos ossos; medula supra-renal, dentro da glândula do mesmo nome, medula espinhal, dentro do canal vertebral. Usualmente inicia-se o estudo do sistema nervoso central pela medula, por ser o órgão mais simples deste sistema e onde o tubo neural foi menos modificado durante o desenvolvimento. A medula espinhal é uma massa cilindróide de tecido nervoso situada dentro do canal vertebral sem, entretanto, ocupá-lo completamente. No homem adulto mede aproximadamente 45 centímetros, sendo um pouco menor na mulher. Cranialmente a medula limita-se com o bulbo, aproximadamente ao nível do forame magno do osso occipital. O limite caudal da medula tem importância clínica e no adulto situa-se geralmente na 2ª vértebra lombar (L2). A medula termina afilando-se para formar um cone, o *cone medular,* que continua com um delgado filamento meníngeo, o *filamento terminal* (Fig. 4.1).

2.0 — FORMA E ESTRUTURA GERAL DA MEDULA (Figs. 4.1, 4.2, 4.5)

A medula apresenta forma aproximadamente cilíndrica, sendo ligeiramente achatada no sentido ântero-posterior. Seu calibre não é uniforme, pois apresenta duas dilatações denominadas *intumescência cervical* e *intumescência lombar,* situadas em nível cervical e lombar, respectivamente. Estas intumescências correspondem às áreas em que fazem conexão com a medula as grossas raízes nervosas que formam os plexos braquial e lombossacral, destinadas a inervação dos membros superiores e inferiores, respectivamente. A formação destas intumescências se deve à maior quantidade de neurônios e, portanto, de fibras nervosas que entram ou saem destas áreas e que são necessárias para a inervação dos membros superiores e inferiores. Esta interpretação encontra apoio na anatomia comparada: o estudo de canais vertebrais de dinossauros mostrou que estes animais, dotados de membros anteriores diminutos e membros posteriores gigantescos, praticamente não possuíam intumescência cervical, enquanto a intumescência lombar rivalizava em tamanho com o próprio encéfalo. Já um animal gigantesco como a baleia, mas com massas musculares igualmente distribuídas ao longo do corpo, possui medula muito larga mas sem dilatações locais.

A superfície da medula apresenta os seguintes sulcos longitudinais, que a percorrem em toda a extensão (Fig. 4.1): *sulco mediano posterior, fissura mediana anterior, sulco lateral* anterior e *sulco lateral* posterior. Na medula cervical existe ainda o *sulco intermédio posterior,* situado entre o mediano posterior e o lateral posterior e que continua em um *septo intermédio posterior* no interior do funículo posterior. Nos sulcos lateral anterior e lateral posterior fazem conexão, respectivamente, as raízes ventrais e dorsais dos nervos espinhais, que serão estudados mais adiante.

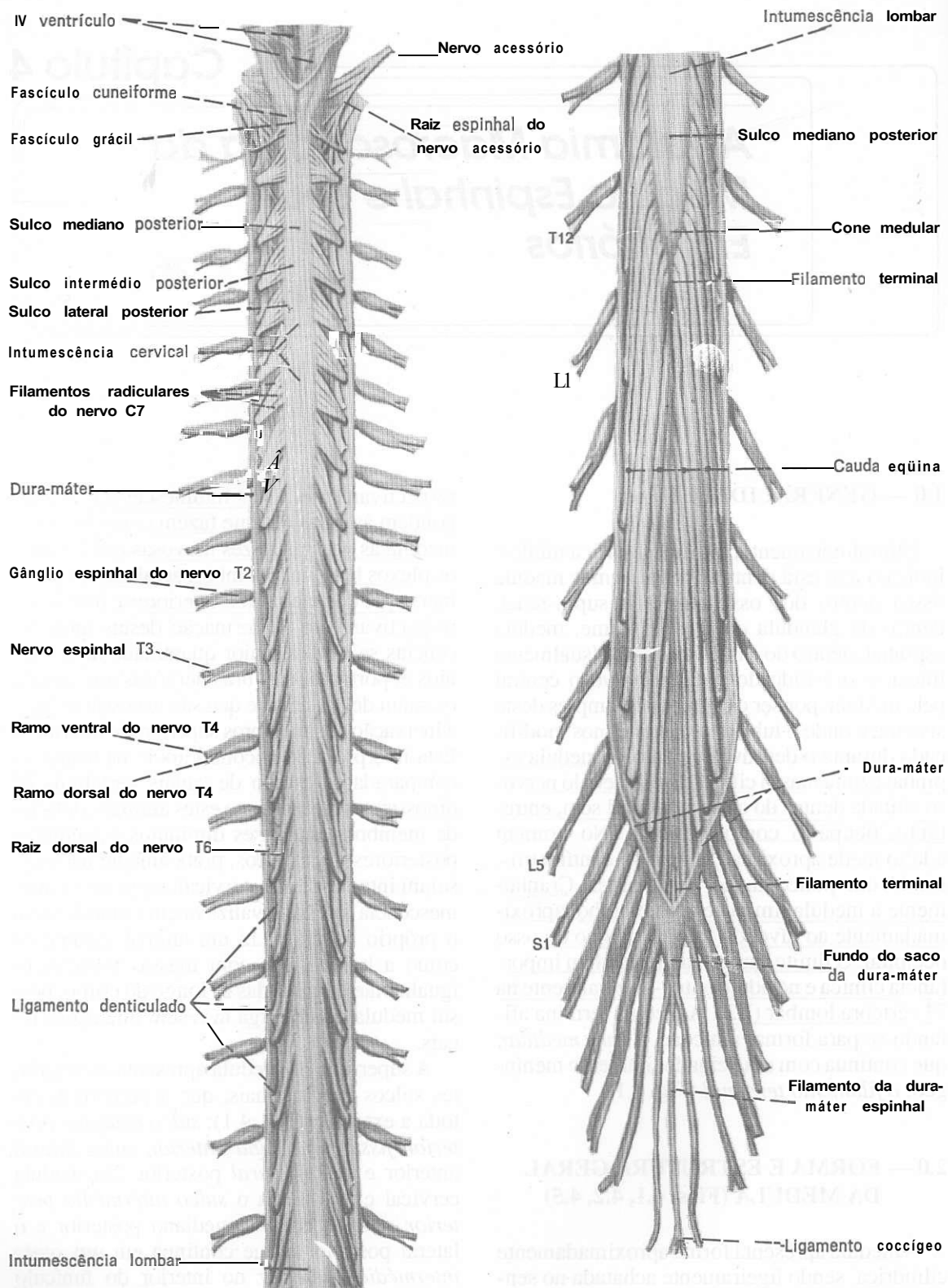



Fig. 4.1 — *Medula espinhal em vista dorsal após abertura da dura-máter.*

colunas aglomerados de neurônios → subst. cinzenta

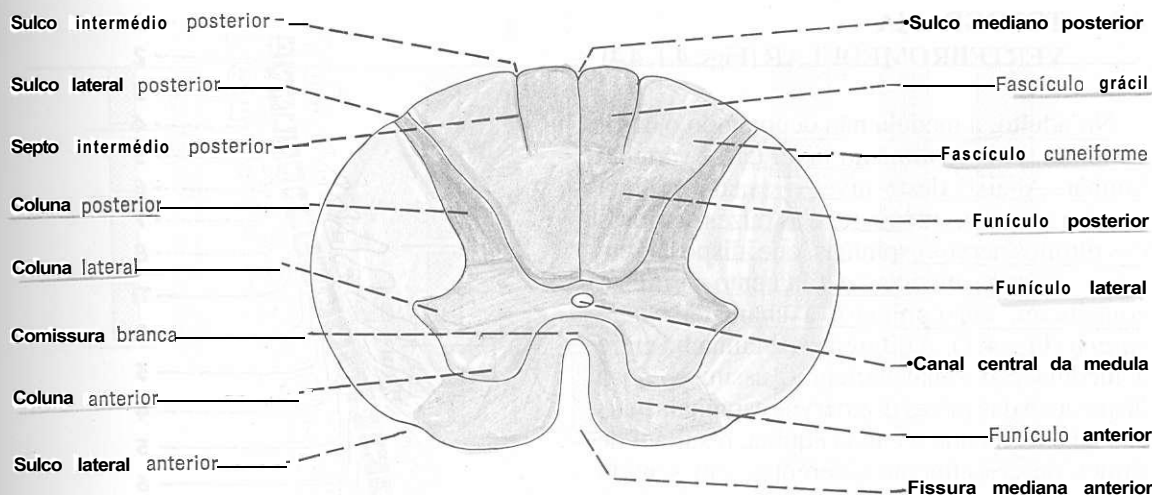



Fig. 4.2 — *Secção transversal esquemática da medula espinhal.*

Na medula, a substância cinzenta localiza-se por dentro da branca e apresenta a forma de uma borboleta*, ou de um **H** (Fig. 4.2). Nela distinguimos de cada lado três colunas que aparecem nos cortes como cornos e que são as colunas *anterior, posterior* e *lateral* (Fig. 4.2). A coluna lateral, entretanto, só aparece na medula torácica e parte da medula lombar. No centro da substância cinzenta localiza-se o *canal central da medula* (ou canal do epêndima), resquício da luz do tubo neural do embrião.

A substância branca é formada por fibras, a maioria delas mielínicas, que sobem e descem na medula e que podem ser agrupadas de cada lado em três funículos ou cordões, (Figs. 4.1, 4.2), a saber:

a) *funículo anterior* — situado entre a fissura mediana anterior e o sulco lateral anterior;
b) *funículo lateral* — situado entre os sulcos lateral anterior e lateral posterior;
c) *funículo posterior* — entre o sulco lateral posterior e o sulco mediano posterior, este último ligado à substância cinzenta pelo *septo mediano posterior.* Na parte cervical da medula, o funículo posterior é dividido pelo sulco intermédio posterior em *fascículo grácil* e *fascículo cuneiforme.*

* *Não são todas as borboletas que se assemelham à substância cinzenta da medula, mas somente as da família Papilionidae.*

3.0 — CONEXÕES COM OS NERVOS ESPINHAIS — SEGMENTOS MEDULARES (Figs. 4.5, 11.7)

Nos sulcos lateral anterior e lateral posterior fazem conexão pequenos filamentos nervosos denominados *filamentos radiculares,* que se unem para formar, respectivamente, *as raízes ventral* e *dorsal dos nervos espinhais.* As duas raízes, por sua vez, se unem para formar os *nervos espinhais,* ocorrendo a união em um ponto situado distalmente ao gânglio espinhal que existe na raiz dorsal (Figs. 4.5, 11.7). A conexão com os nervos espinhais marca a segmentação da medula, que, entretanto, não é completa, uma vez que não existem septos ou sulcos transversais separando um segmento do outro. Considera-se segmento medular de um determinado nervo a parte da medula onde fazem conexão os filamentos radiculares que entram na composição deste nervo. Existem 31 pares de nervos espinhais aos quais correspondem 31 segmentos medulares assim distribuídos: oito cervicais, 12 torácicos, cinco lombares, cinco sacrais e, geralmente, um coccígeo. Existem oito pares de nervos cervicais, mas somente sete vértebras. O primeiro par cervical (C1) emerge acima da 1ª vértebra cervical, portanto, entre ela e o osso occipital. Já o 8º par (C8) emerge abaixo da *7*ª vértebra, o mesmo acontecendo com os nervos espinhais abaixo de C8, que emergem, de cada lado, sempre abaixo da vértebra correspondente (Fig. 4.3).

4.0 — TOPOGRAFIA VERTEBROMEDULAR (Figs. 4.1, 4.4)

No adulto, a medula não ocupa todo o canal vertebral, pois termina ao nível da 2ª vértebra lombar. Abaixo deste nível o canal vertebral contém apenas as meninges e as raízes nervosas dos últimos nervos espinhais, que, dispostas em torno do cone medular e filamento terminal, constituem, em conjunto, a chamada *cauda eqüina* (Fig. 4.1). A diferença de tamanho entre a medula e o canal vertebral, assim como a disposição das raízes dos nervos espinhais mais caudais, formando a cauda eqüina, resultam de ritmos de crescimento diferentes, em sentido longitudinal, entre medula e coluna vertebral. Até o quarto mês de vida intra-uterina, medula c coluna crescem no mesmo ritmo. Por isso, a medula ocupa todo o comprimento do canal vertebral, e os nervos, passando pelos respectivos forames intervertebrais, dispõem-se horizontalmente formando com a medula um ângulo aproximadamente reto (Fig. **4.4)**. Entretanto, a partir do quarto mês. a coluna começa a crescer mais do que a medula, especialmente em sua porção caudal. Como as raízes nervosas mantêm suas relações com os respectivos forames intervertebrais, há o alongamento das raízes e diminuição do ângulo que elas fazem com a medula. Estes fenômenos são mais pronunciados na parte caudal da medula, levando à formação da cauda eqüina. O modelo esquemático da Fig. **4.4** mostra como o fenômeno se passa.

Ainda como conseqüência da diferença de ritmos de crescimento entre coluna e medula, temos um afastamento dos segmentos medulares das vértebras correspondentes (Fig. **4.3)**. Assim, no adulto, as vértebras T11 e **T12** não estão relacionadas com os segmentos medulares de mesmo nome, mas sim com segmentos lombares. O fato é dc grande importância clínica para diagnóstico, prognóstico e tratamento das lesões vertebromedulares. Assim, uma lesão da vértebra T12 pode afetar a medula lombar. Já uma lesão da vértebra **L3** afetará apenas as raízes da cauda eqüina, sendo o prognóstico completamente diferente nos dois casos. É, pois, muito importante para o médico conhecer a correspondência entre vértebra e medula Para isto existe a seguinte regra prática* (Fig. **4.3)**:

* *Referida por Peele, T. L. — The Neuroanatomical Basis for Clinical Neurology, McGrawHill Co., New York, 1954.*

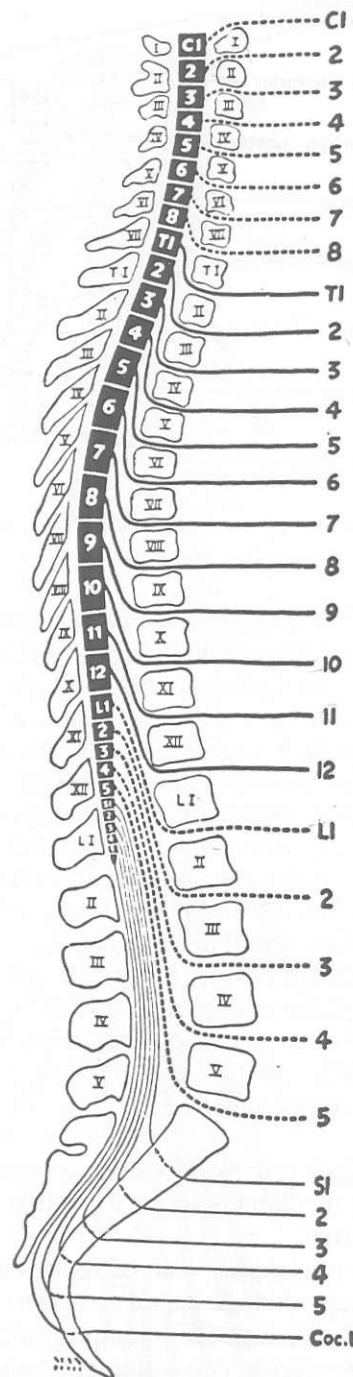



Fig. 4.3 — *Diagrama mostrando a relação dos segmentos medulares e dos nervos espinhais com o corpo e os processos espinhosos das vértebras (Reproduzido de Haymaker and Woodhall. 1945. Peripheral Nerve Injuries, W.B. Saunders and Co.).*

entre os níveis das vértebras **C2** e T10, adiciona-se **2** ao número do processo espinhoso da vértebra e tem-se o número do segmento medular subjacente. Assim, o processo espinhoso da

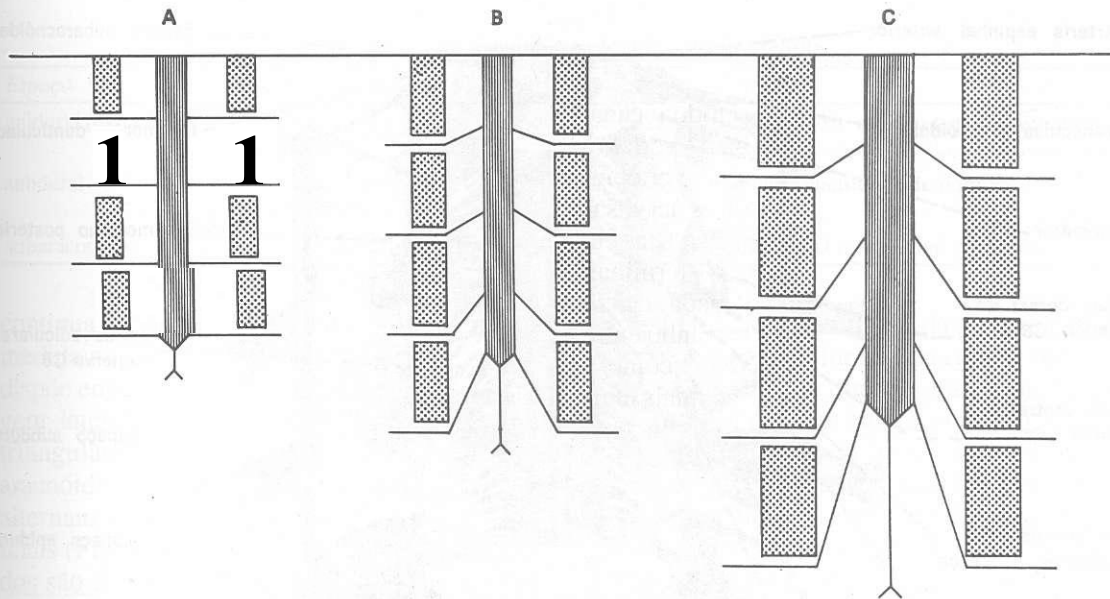



Fig. 4.4 — *Modelo teórico para explicar as modificações da topografia vertebromedular durante o desenvolvimento. Em A, situação observada aos quatro meses de vida intra-uterina; em C, situação observada ao nascimento; em B, situação intermediária.*

vértebra C6 está sobre o segmento medular C8; o da vértebra T10 sobre o segmento T12. Aos processos espinhosos das vértebras T11 e T12 correspondem os cinco segmentos lombares, enquanto ao processo espinhoso de L1 correspondem os cinco segmentos sacrais. É óbvio que esta regra não é muito exata, especialmente nas vértebras logo abaixo de C2. Na prática, entretanto, ela funciona bastante bem.

5.0 — ENVOLTÓRIOS DA MEDULA (Figs. 4.1, 4.5)

Como todo o sistema nervoso central, a medula é envolvida por membranas fibrosas denominadas meninges, que são: *dura-máter, pia-máter* e *aracnóide*. A dura-máter é a mais espessa, razão pela qual é também chamada *paquimeninge*. As outras duas constituem a *leptomeninge*. Elas serão estudadas com mais detalhe adiante. Limitar-nos-emos aqui a algumas considerações sobre sua disposição na medula.

A meninge mais externa é a dura-máter, formada por abundantes fibras colágenas, que a tornam espessa e resistente. A dura-máter espinhal envolve toda a medula, como se fosse um dedo de luva, o *saco durai*. Cranialmente, a dura-máter espinhal continua com a dura-máter craniana, caudalmente termina em um fundo-de-saco ao nível da vértebra S2. Prolongamentos laterais da dura-máter embainham as raízes dos nervos espinhais, continuando com o tecido conjuntivo (epineuro), que envolve estes nervos (Fig. 4.5).

A araenóide espinhal se dispõe entre a dura-máter e a pia-máter. Compreende um folheto justaposto à dura-máter e um emaranhado de trabéculas, as trabéculas aracnóideas, que une este folheto à pia-máter.

A pia-máter é a meninge mais delicada c mais interna. Ela adere intimamente ao tecido nervoso da superfície da medula e penetra na fissura mediana anterior. Quando a medula termina no cone medular, a pia-máter continua caudalmente, formando um filamento esbranquiçado denominado *filamento terminal*. Este filamento perfura o fundo-do-saco durai e continua caudalmente até o hiato sacral. Ao atravessar o saco durai, o filamento terminal recebe vários prolongamentos da dura-máter e o conjunto passa a ser denominado *filamento da dura-máter espinhal* (Fig. 4.1) Este, ao inserir-se no periósteo da superfície dorsal do cóccix constitui o *ligamento coccígeo*.

A pia-máter forma de cada lado da medula uma prega longitudinal denominada *ligamento denticulado*, que se dispõe cm um plano frontal ao longo de toda a extensão da medula (Figs. 4.1, 4.5). A margem medial de cada ligamento

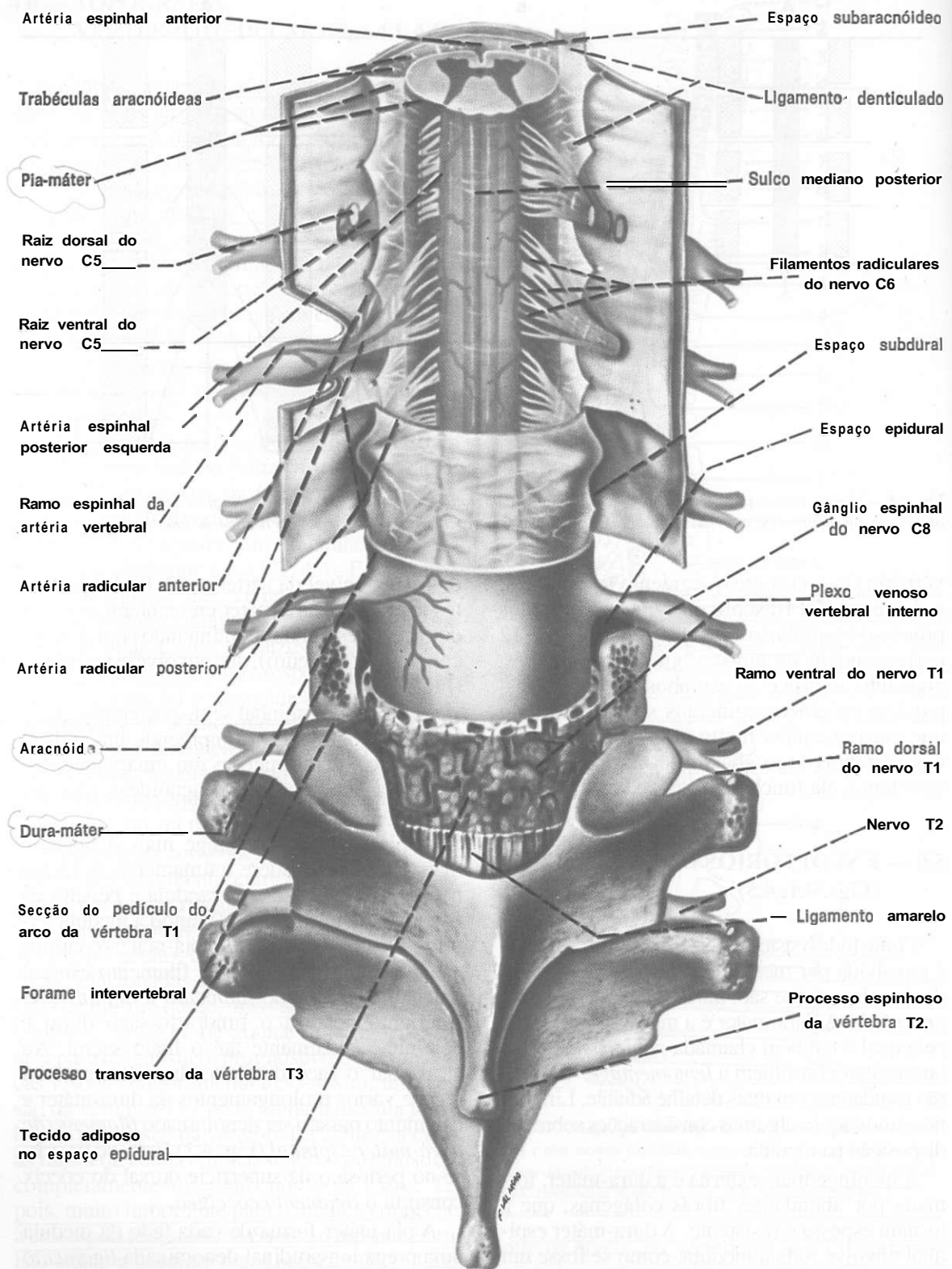



Fig. 4.5 — *Medula e envoltórios em vista dorsal.*

Tabela 4.1
Características dos Espaços Meníngeos da Medula

Espaço	*Localização*	*Conteúdo*
epidural (extradural)	entre a dura-máter e o periósteo do canal vertebral	tecido adiposo e plexo venoso vertebral interno
subdural	espaço virtual entre a dura-máter e a aracnóide	pequena quantidade de líquido
subaracnóideo	entre a aracnóide e a pia-máter	líquido cérebro-espinhal (ou liquor)

continua com a pia-máter da face lateral da medula ao longo de uma linha contínua que se dispõe entre as raízes dorsais e ventrais. A margem lateral apresenta cerca de 21 processos triangulares, que se inserem firmemente na aracnóide e na dura-máter em pontos que se alternam com a emergência dos nervos espinhais (Fig. 4.5). Os dois ligamentos denticulados são elementos de fixação da medula e importantes pontos de referência em certas cirurgias deste órgão.

Em relação com as meninges que envolvem a medula existem três cavidades ou espaços, *epidural, subdural* e *subaracnóideo* (Fig. 4.5). O *espaço epidural,* ou *extradural* situa-se entre a dura-máter e o periósteo do canal vertebral. Contém tecido adiposo e um grande número dc veias que constituem o *plexo venoso vertebral interno** (Fig. 4.5). O *espaço subdural,* situado entre a dura-máter e a aracnóide, é uma fenda estreita contendo uma pequena quantidade de líquido, suficiente apenas para evitar a aderência das paredes. O *espaço subaracnóideo é* o mais importante e contém uma quantidade razoavelmente grande de *líquido cérebro-espinhal ou liquor.* As características destes três espaços são sintetizadas na Tabela 4.1.

A exploração clínica do espaço subaracnóideo ao nível da medula é facilitada por certas particularidades anatômicas da dura-máter e da aracnóide na região lombar da coluna vertebral. Sabe-se que o saco durai e a aracnóide que o acompanha terminam em S2, enquanto a medula termina mais acima, em L2. Entre estes dois níveis, o espaço subaracnóideo é maior, contém maior quantidade de liquor e nele se encontram apenas o filamento terminal e as raízes que formam a cauda eqüina (Fig. 4.1). Não havendo perigo de lesão da medula, esta área é ideal para a introdução de uma agulha no espaço subaracnóideo (Fig. 4.6), o que é feito com as seguintes finalidades:

a) retirada de liquor; para fins terapêuticos ou de diagnóstico nas punções lombares (ou raquidianas);
b) medida da pressão do liquor;
c) introdução dc substâncias que aumentam o contraste das radiografias, tais como ar,

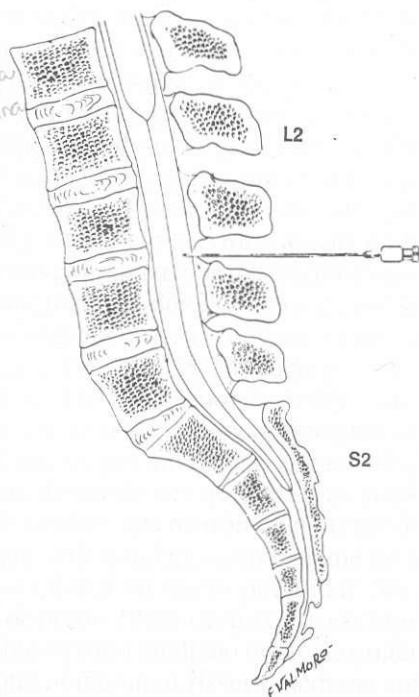



Fig. 4.6 — *Introdução dc agulha no espaço subaracnóideo.*

* *As veias deste plexo são desprovidas de válvulas c têm comunicações com as veias das cavidades torácica, abdominal c pélvica. Aumentos dc pressão nestas cavidades provocados, por exemplo, pela tosse, impelem o sangue no sentido do plexo vertebral. Esta inversão do fluxo venoso explica a disseminação para a coluna vertebral ou para a medula dc infecções e metástases cancerosas a partir dc processos localizados primitivamente nas cavidades torácica, abdominal c pélvica. Segundo se acredita, este mecanismo seria responsável pela ocorrência cada vez mais freqüente cm nosso meio dc lesões neurológicas causadas pela localização dc ovos dc* Schistossoma mansoni *na medula espinhal. Entretanto, sabe-se hoje que nesses casos o próprio verme migra para a medula, onde põe seus ovos (revisão cm Pitclla, J.E.H.— 1988 — Clinical Neuropathology 8:257-262).*

hélio e certos sais de iodo, visando o diagnóstico de processos patológicos da medula na técnica denominada ***mielografia;***

d) introdução de anestésicos nas chamadas anestesias raquidianas, como será visto no próximo item.

6.0 — ANESTESIAS NOS ESPAÇOS MENÍNGEOS

A introdução de anestésicos nos espaços meníngeos da medula de modo a bloquear as raízes nervosas que os atravessam constitui procedimento de rotina na prática médica, especialmente em cirurgias das extremidades inferiores, do períneo, da cavidade pélvica e em algumas cirurgias abdominais. Usualmente são feitas anestesias raquidianas e anestesias epidurais ou peridurais.

6.1 — ANESTESIAS RAQUIDIANAS

Nesse tipo de anestesia, o anestésico é introduzido no espaço subaracnóideo por meio de uma agulha que penetra no espaço entre as vértebras L2-L3, L3-L4 (Fig. 4.6) ou L4-L5. No seu trajeto, a agulha perfura sucessivamente a pele e a tela subcutânea, o ligamento interespinhoso, o ligamento amarelo, a dura-máter e a aracnóide (Fig. 4.5). Certifica-se de que a agulha atingiu o espaço subaracnóideo pela presença do liquor que goteja de sua extremidade.

6.2 — ANESTESIAS EPIDURAIS (OU PERIDURAIS)

São feitas geralmente na região lombar, introduzindo-se o anestésico no espaço epidural, onde ele se difunde e atinge os forames intervertebrais, pelos quais passam as raízes dos nervos espinhais. Certifica-se de que a ponta da agulha atingiu o espaço epidural quando se observa uma súbita baixa de resistência, indicando que ela acabou de perfurar o ligamento amarelo. Essas anestesias não apresentam alguns dos inconvenientes das anestesias raquidianas, como, por exemplo, o aparecimento freqüente de dores de cabeça, que resultam da perfuração da dura-máter e do vazamento de liquor. Entretanto, elas exigem uma habilidade técnica mùito maior.

Capítulo 5

Anatomia Macroscópica do Tronco Encefálico

1.0 — GENERALIDADES

0 tronco encefálico interpõe-se entre a medula e o diencéfalo, situando-se ventralmente ao cerebelo. Na sua constituição entram corpos de neurônios que se agrupam em *núcleos* e fibras nervosas, que, por sua vez, se agrupam em feixes denominados *tractos, fascículos* ou *lemniscos.* Estes elementos da estrutura interna do tronco encefálico podem estar relacionados com relevos ou depressões de sua superfície, os quais devem ser identificados pelo aluno nas peças anatômicas com o auxílio das figuras e das descrições apresentadas neste capítulo. O conhecimento dos principais acidentes da superfície do tronco encefálico, como aliás de todo o sistema nervoso central, é muito importante para o estudo de sua estrutura e função. Muitos dos núcleos do tronco encefálico recebem ou emitem fibras nervosas que entram na constituição dos *nervos cranianos*. Dos 12 pares de nervos cranianos, 10 fazem conexão no tronco encefálico. A identificação destes nervos e de sua emergência do tronco encefálico é um aspecto importante do estudo deste segmento do sistema nervoso central. Convém lembrar, entretanto, que nem sempre é possível observar todos os nervos cranianos nas peças anatômicas rotineiras, pois freqüentemente alguns são arrancados durante a retirada dos encéfalos.

O tronco encefálico se divide em: bulbo, situado caudalmente; mesencéfalo, situado cranialmente; e ponte, situada entre ambos. A seguir será feito o estudo da morfologia externa de cada uma destas partes.

2.0 — BULBO (Figs. 5.1 e 5.2)

O *bulbo raquídeo* ou *medula oblonga* tem a forma de um tronco de cone, cuia extremidade menor continua caudalmente com a medula espinhal. Como não existe uma linha de demarcação nítida entre medula e bulbo, considera-se que o limite entre eles está em um plano horizontal que passa imediatamente acima do filamento radicular mais cranial do primeiro nervo cervical, o que corresponde ao nível do forame magno do osso occipital. O limite superior do bulbo se faz em um sulco horizontal visível no contorno ventral do órgão, o *sulco bulbo-pontino*, que corresponde à margem inferior da ponte. A superfície do bulbo é percorrida longitudinalmente por sulcos ora mais; ora menos paralelos, que continuam com os sulcos da medula. Estes sulcos delimitam as áreas anterior (ventral), lateral e posterior (dorsal) do bulbo, que, vistas pela superfície, aparecem como uma continuação direta dos funículos da medula. A *fissura mediana anterior* termina cranialmente em uma depressão denominada *forame cego* (Fig. 5.1). De cada lado da fissura mediana anterior existe uma eminência alongada, a *pirâmide,* formada por um feixe compacto de fibras nervosas descendentes que ligam as áreas motoras do cérebro aos neurônios motores da medula, que será estudado com o nome de tracto córtico-espinhal ou tracto piramidal. Na parte caudal do bulbo, fibras deste tracto cruzam obliquamente o plano mediano em feixes interdigitados que obliteram a fissura mediana anterior e constituem a *decussação das pirâmides* (Fig. 5.1). Entre os sulcos lateral anterior e lateral

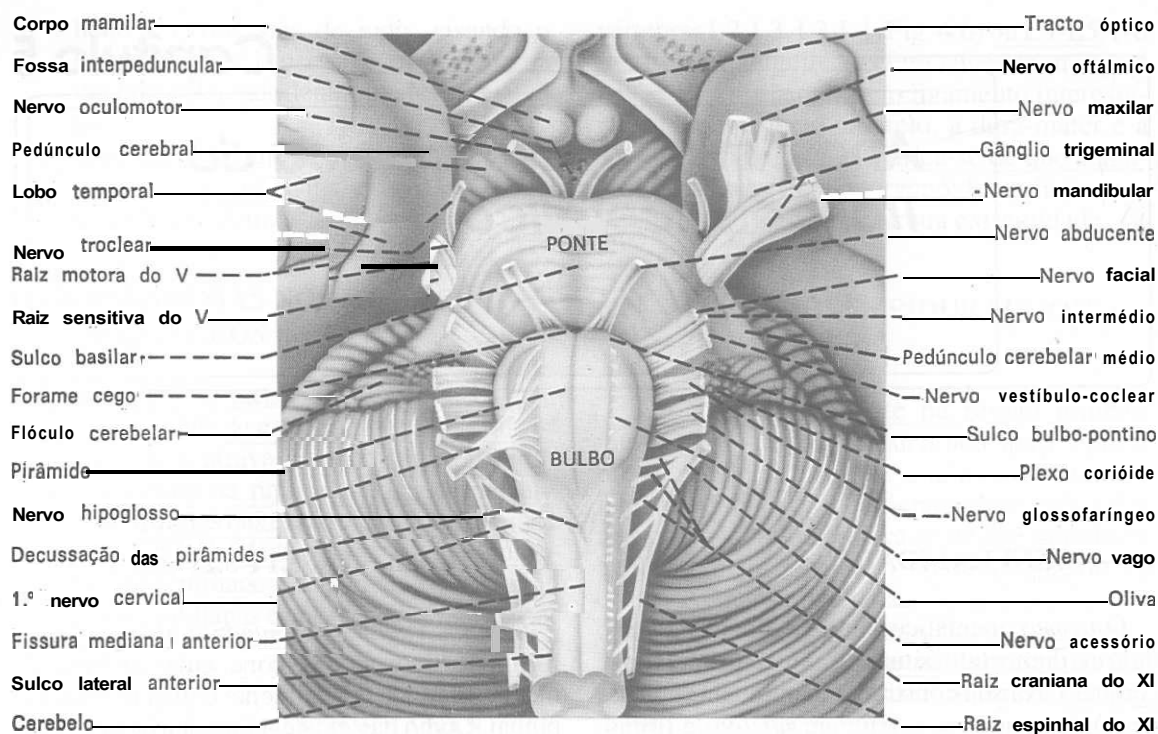



Fig. 5.1 — *Vista ventral do tronco encefálico e parte do diencéfalo.*

posterior temos a *área lateral do bulbo,* onde se observa uma eminência oval, a *oliva* (Fig. 5.1), formada por uma grande massa de substância cinzenta, o núcleo olivar inferior, situado logo abaixo da superfície. Ventralmente à oliva emergem do sulco lateral anterior os filamentos radiculares do *nervo hipoglosso,* XII par craniano. Do sulco lateral posterior emergem os filamentos radiculares, que se unem para formar os nervos *glossofaríngeo* (IX par) e *vago* (X par), além dos filamentos que constituem a *raiz craniana* ou *bulbar do nervo acessório* (XI par), a qual se une com a *raiz espinhal,* proveniente da medula (Fig. 5.1).

A metade caudal do bulbo ou *porção fechada do bulbo* é percorrida por um estreito canal (Fig. 2.7), continuação direta do canal central da medula. Este canal se abre para formar o *IV ventrículo,* cujo assoalho é em parte constituído pela metade rostral, ou *porção aberta do bulbo* (Fig. 5.2). O *sulco mediano posterior* (Fig. 5.2) termina a meia altura do bulbo, em virtude do afastamento de seus lábios, que contribuem para a formação dos limites laterais do IV ventrículo. Entre este sulco e o sulco lateral posterior está situada a *área posterior do bulbo,* continuação do funículo posterior da medula e, como este, dividida em *fascículo grácil* e *fascículo cuneiforme* pelo *sulco intermédio posterior* (Fig. 5.2). Estes fascículos são constituídos por fibras nervosas ascendentes, provenientes da medula, que terminam em duas massas de substância cinzenta, os núcleos grácil e cuneiforme, situados na parte mais cranial dos respectivos fascículos, onde determinam o aparecimento de duas eminências, o *tubérculo do núcleo grácil,* medialmente, e o *tubérculo do núcleo cuneiforme,* lateralmente (Fig. 5.2). Em virtude do aparecimento do IV ventrículo, os tubérculos do núcleo grácil e do núcleo cuneiforme afastam-se lateralmente como os dois ramos de um V e gradualmente continuam para cima com o *pedúnculo cerebelar inferior* (ou corpo restiforme). Este é formado por um grosso feixe de fibras que forma as bordas laterais da metade caudal do IV ventrículo, fletindo-se dorsalmente para penetrar no cerebelo (Fig. 5.2).

3.0 — PONTE (Figs. 5.1 e 5.2)

Ponte é a parte do tronco encefálico interposta entre o bulbo e o mesencéfalo. Está situada

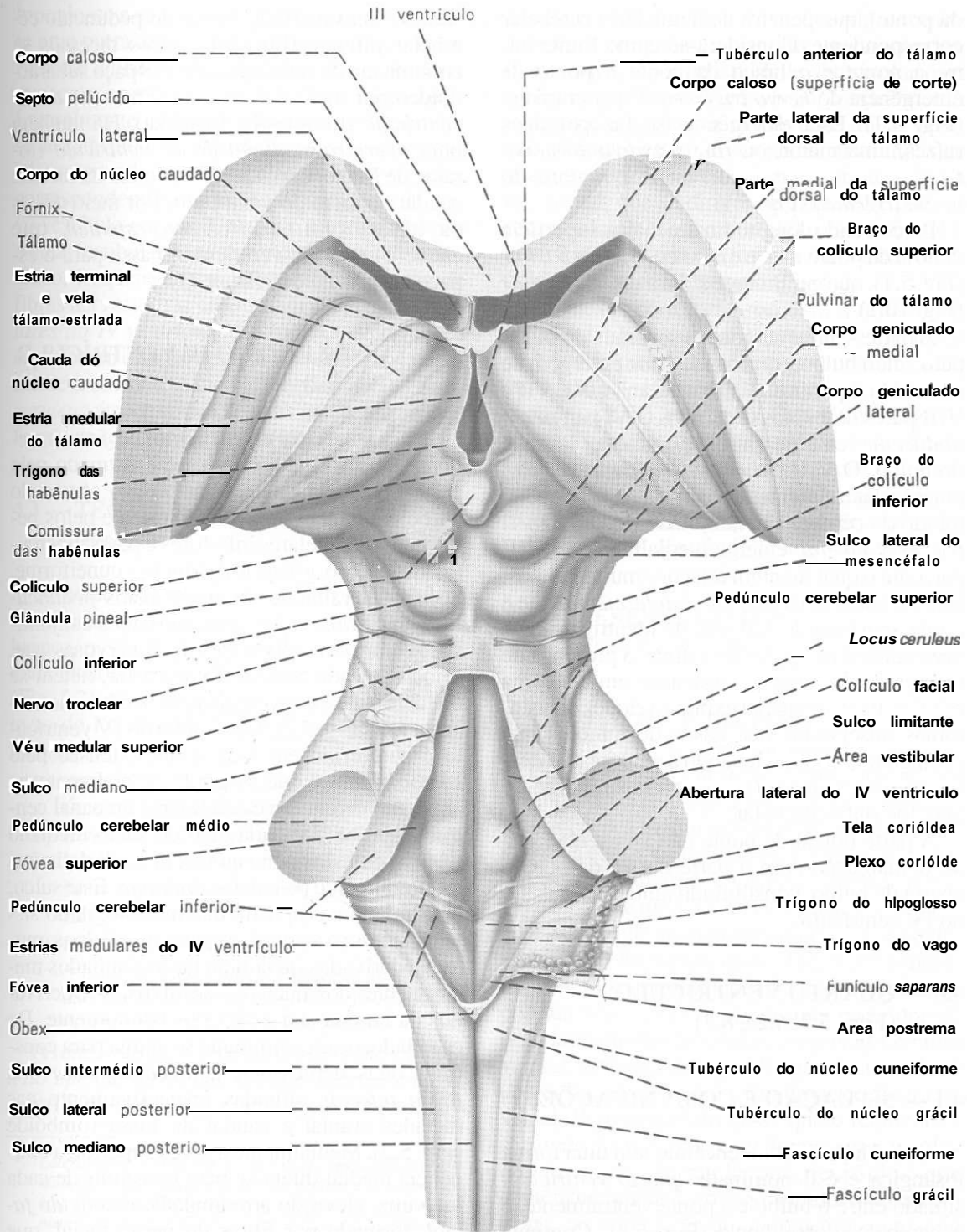



Fig. 5.2 — *Vista dorsal do tronco encefálico e parte do diencéfalo.*

ventralmente ao cerebelo e repousa sobre a parte basilar do osso occipital e o dorso da sela túrcica do esfenóide. Sua base, situada ventralmente, apresenta estriação transversal em virtude da presença de numerosos feixes de fibras transversais que a percorrem. Estas fibras convergem de cada lado para formar um volumoso feixe, o *pedúnculo cerebelar médio* (ou braço

da ponte), que penetra no hemisfério cerebelar correspondente. Considera-se como limite entre a ponte e o braço da ponte o ponto de emergência do *nervo trigêmeo,* V par craniano (Fig. 5.1). Esta emergência se faz por duas raízes, uma maior, ou *raiz sensitiva do nervo trigêmeo,* e outra menor, ou *raiz motora do nervo trigêmeo* (Fig. 5.1).

Percorrendo longitudinalmente a superfície ventral da ponte existe um sulco, o *sulco basilar* (Fig. 5.1), que geralmente aloja a *artéria basilar* (Fig. 10.1).

A parte ventral da ponte é separada do bulbo pelo sulco bulbo-pontino, de onde emergem de cada lado a partir da linha mediana o VI, VII e VIII pares cranianos (Fig. 5.1). O VI par, *nervo abducente,* emerge entre a ponte e a pirâmide do bulbo. O VIII par, *nervo vestíbulo-coclear,* emerge lateralmente, próximo a um pequeno lóbulo do cerebelo, denominado flóculo. O VII par, *nervo facial,* emerge medialmente ao VIII par, com o qual mantém relações muito íntimas. Entre os dois emerge o *nervo intermédio,* que é a raiz sensitiva do VII par, de identificação as vezes difícil nas peças de rotina. A presença de tantas raízes de nervos cranianos em uma área relativamente pequena explica a riqueza de sintomas observados nos casos de tumores que acometem esta área, levando à compressão dessas raízes e causando a chamada síndrome do ângulo ponto-cerebelar.

A parte dorsal da ponte não apresenta linha de demarcação com a parte dorsal da porção aberta do bulbo, constituindo ambas o assoalho do IV ventriculo.

4.0 — QUARTO VENTRÍCULO (Figs. 5.2, 6.2 e 8.7)

4.1 — SITUAÇÃO E COMUNICAÇÕES

A cavidade do rombencéfalo tem uma forma losângica e é denominada *quarto ventriculo,* situado entre o bulbo e a ponte ventralmente, e o cerebelo, dorsalmente (Fig. 6.2). Continua caudalmente com o canal central do bulbo e cranialmente com o *aqueduto cerebral,* cavidade do mesencéfalo, através da qual o IV ventrículo se comunica com o III ventriculo (Fig. 8.4). A cavidade do IV ventriculo se prolonga de cada lado para formar os *recessos laterais,* situados na superfície dorsal do pedúnculo cerebelar inferior (Fig. 5.2). Estes recessos se comunicam de cada lado com o espaço subaracnóideo por meio das *aberturas laterais do IV ventriculo* (forames de Luschka). Há também uma *abertura mediana do IV ventriculo* (forame de Magendie), situado no meio da metade caudal do tecto do ventriculo. Por meio destas cavidades o líquido *cérebro-espinhal,* que enche a cavidade ventricular, passa para o espaço subaracnóideo (Fig. 8.3).

4.2 — ASSOALHO DO IV VENTRÍCULO (Fig. 5.2)

O assoalho do IV ventriculo, ou *fossa rombóide,* tem forma losângica e é formado pela parte dorsal da ponte e da porção aberta do bulbo. Limita-se ínfero-lateralmente pelos pedúnculos cerebelares inferiores e pelos tubérculos do núcleo grácil e do núcleo cuneiforme. Súpero-lateralmente limita-se pelos *pedúhculos cerebelares superiores,* ou braços conjuntivos, compactos feixes de fibras nervosas que, saindo de cada hemisfério cerebelar, fletem-se cranialmente e convergem para penetrar no mesencéfalo (Fig. 5.2). O assoalho do IV ventriculo é percorrido em toda a sua extensão pelo *sulco mediano,* que se perde cranialmente no aqueduto cerebral e caudalmente no canal central do bulbo. De cada lado do sulco mediano há uma eminência, a *eminência medial,* limitada lateralmente pelo *sulco limitante.* Este sulco, já estudado a propósito da embriologia do sistema nervoso central, separa os núcleos motores, derivados da lâmina basal e situados medialmente, dos núcleos sensitivos, VI, derivados da lâmina alar e situados lateralmente. De cada lado, o sulco limitante se alarga para constituir duas depressões, a *fóvea superior* e a *fóvea inferior,* situadas respectivamente nas metades cranial e caudal da fossa rombóide (Fig. 5.2). Medialmente à fóvea superior, a eminência medial dilata-se para constituir de cada lado uma elevação arredondada, o *colículo facial,* formado por fibras do nervo facial, que neste nível contornam o núcleo do nervo abducente. Na parte caudal da eminência medial observa-se, de cada lado, uma pequena área triangular de vértice inferior, o *trígono do nervo hipoglosso,* correspondente ao núcleo do nervo hipoglosso. Lateralmente ao trígono do nervo

hipoglosso e caudalmente à fóvea inferior, existe uma outra área triangular de coloração ligeiramente acinzentada, o *trígono do nervo vago,* que corresponde ao *núcleo dorsal do vago**. Lateralmente ao sulco limitante e estendendo-se de cada lado em direção aos recessos laterais, há uma grande área triangular, a *área vestibular,* correspondendo aos núcleos vestibulares do nervo vestíbulo-coclear. Cruzando transversalmente a área vestibular para se perderem no sulco mediano, freqüentemente existem finas cordas de fibras nervosas que constituem as *estrias medulares do IV ventrículo.* Estendendo-se do fóvea superior em direção ao aqueduto cerebral, lateralmente à eminência medial, encontra-se o *locus-ceruleus,* área de coloração ligeiramente escura cuja função se relaciona com o mecanismo do sono.

4.3 — TECTO DO IV VENTRÍCULO (Fig. 5.2)

A metade cranial do tecto do IV ventrículo é constituída por uma fina lâmina de substância branca, o véu medular superior, que se estende entre os dois pedúnculos cerebelares superiores (Fig. 5.2). Na constituição da metade caudal do tecto do IV ventrículo temos as seguintes formações (Fig. 5.2):

a) uma pequena parte da substância branca do *nódulo do cerebelo;*
b) o *véu medular inferior* — formação bilateral constituída de uma fina lâmina branca presa medialmente às bordas laterais do nódulo do cerebelo;
c) *tela corióide do IV ventrículo* (Fig. 5.2) — que une as duas formações anteriores às bordas da metade caudal do assoalho do IV ventrículo.**

A tela corióide é formada pela união do *epitélio ependimário,* que reveste internamente o ventrículo, com a *pia-máter,* que reforça externamente este epitélio.*** A tela corióide emite projeções irregulares, e muito vascularizadas, que se invaginam na cavidade ventricular para formar o *plexo corióide do IV ventrículo.* A invaginação se dá ao longo de duas linhas verticais situadas próximo ao plano mediano, que encontram perpendicularmente com uma linha horizontal, que se dirige, de cada lado, para os recessos laterais. Assim, o plexo corióide do IV ventrículo tem em conjunto a forma de um **T,** cujo braço vertical é duplo (Fig 5.2).

Os plexos corióides produzem o *líquido cérebro-espinhal,* que se acumula na cavidade ventricular passando ao espaço subaracnóideo através das *aberturas laterais* e da *abertura mediana do IV ventrículo.* Esta última, situada na parte caudal da tela corióide é de difícil visualização nas peças usuais. Através das aberturas laterais próximo do flóculo do cerebelo exterioriza-se uma pequena porção do plexo corióide do IV ventrículo (Figs. 5.1 e 9.3).

5.0 — MESENCÉFALO (Figs. 5.1, 5.2 e 5.3)

5.1 — LIMITES E DIVISÃO

O mesencéfalo interpõe-se entre a ponte e o cérebro, do qual é separado por um plano que liga os corpos mamilares, pertencentes ao diencéfalo, à comissura posterior. É atravessado por um estreito canal, o *aqueduto cerebral* (Figs. 5.3 e 8.4), que une o III ao IV ventrículo. A parte do mesencéfalo situada dorsalmente ao aqueduto é o *tecto do mesencéfalo* (Fig. 5.3); ventralmente temos os dois *pedúnculos cerebrais,* que, por sua vez, se dividem em uma parte dorsal, predominantemente celular, o *tegmento,* e outra ventral, formada de fibras longitudinais, a *base do pedúnculo* (Fig. 5.3). Em uma secção transversal do mesencéfalo vê-se que o tegmento é separado da base por uma área escura, a *substância negra,* formada por neurônios que contêm melanina. Correspondendo à substância negra na superfície do mesencéfalo existem dois sulcos longitudinais: um lateral, *sulco lateral do mesencéfalo,* e outro medial, *sulco medial do pedúnculo cerebral.* Estes sulcos mar-

---

* *Lateralmente ao trígono do vago existe uma estreita crista oblíqua. O* funiculus separans, *que separa este trígono da* área postrema *(Fig. 5.2), região relacionada com o mecanismo do vômito desencadeado por estímulos químicos.*

** *Na maioria das peças de uso didático, a tela corióide está rompida ou foi retirada. Neste caso, as suas bordas rotas permanecem aderidas às margens do ventrículo e aparecem como duas linhas, as* tênias do IV ventrículo, *que se unem por sobre o ângulo caudal da cavidade para formar uma pequena lâmina triangular, o* óbex.

*** *Alguns autores consideram a tela corióide como formação constituída apenas pela pia-máter.*

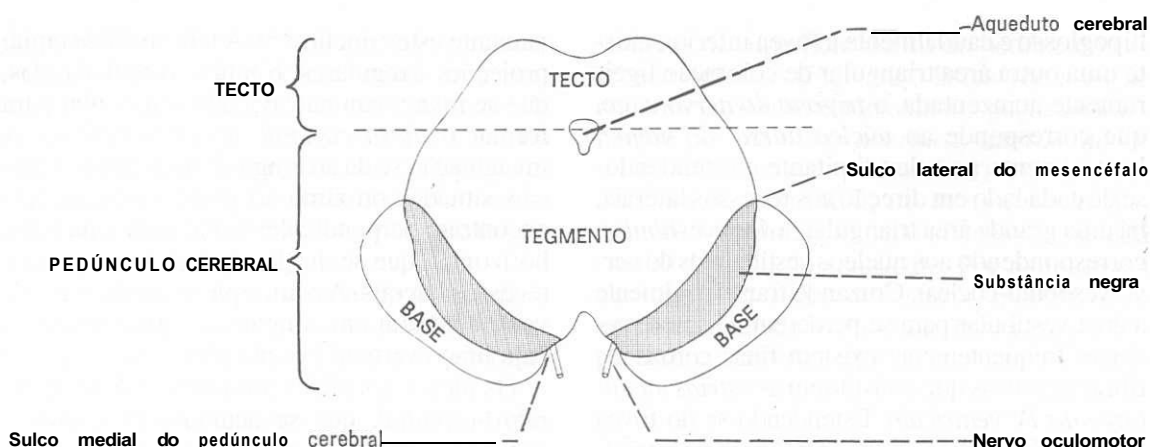



Fig. 5.3 — *Secção transversal do mesencéfalo.*

cam na superfície o limite entre base e tegmento do pedúnculo cerebral (Fig. 5.3). Do sulco medial emerge o *nervo oculomotor,* III par craniano (Fig. 5.1).

5.2 — TECTO DO MESENCÉFALO (Fig. 5.2)

Em vista dorsal, o tecto do mesencéfalo apresenta quatro eminências arredondadas, os *colículos superiores* e *inferiores* (corpos quadrigêmeos), separados por dois sulcos perpendiculares em forma de cruz (Fig. 5.2). Na parte anterior do ramo longitudinal da cruz aloja-se o *corpo pineal,* que, entretanto, pertence ao diencéfalo. Caudalmente a cada coliculo inferior emerge o IV par craniano, *nervo troclear,* muito delgado e por isto mesmo facilmente arrancado com o manuseio das peças. O nervo troclear, único dos pares cranianos que emerge dorsalmente, contorna o mesencéfalo para surgir ventralmente entre a ponte c o mesencéfalo (Figs. 5.1 e 5.2). Cada coliculo se liga a uma pequena eminência oval do diencéfalo, o corpo geniculado, através de um feixe superficial de fibras nervosas que constitui o seu braço. Assim, o coliculo inferior se liga ao *corpo geniculado medial* pelo *braço do coliculo inferior,* e o coliculo superior, ao menos aparentemente, se liga ao *corpo geniculado lateral* pelo *braço do colículo superior,* o qual tem parte do seu trajeto escondido entre o *pulvinar do tálamo* e o corpo geniculado medial (Fig. 5.2). O corpo geniculado lateral nem sempre é fácil de ser identificado nas peças; um bom método para encontrá-lo consiste em procurá-lo na extremidade do *tracto óptico.*

5.3 — PEDÚNCULOS CEREBRAIS (Fig. 5.1)

Vistos ventralmente, os pedúnculos cerebrais aparecem como dois grandes feixes dc fibras que surgem na borda superior da ponte c divergem cranialmente para penetrar profundamente no cérebro. Delimitam, assim, uma profunda depressão triangular, a *fossa interpeduncular,* limitada anteriormente por duas eminências pertencentes ao diencéfalo, os *corpos mamilares.* O fundo da fossa interpeduncular apresenta pequenos orifícios para a passagem de vasos e denomina-se *substância perfurada posterior.* Como já foi exposto, do sulco longitudinal situado na face medial do pedúnculo, *sulco medial do pedúnculo,* emerge de cada lado o *nervo oculomotor* (Fig. 5.1).

Capítulo 6

Cerebelo: Anatomia Macroscópica e Divisões

1.0 — GENERALIDADES

O cerebelo, órgão do sistema nervoso suprassegmentar, deriva da parte dorsal do metencéfalo e fica situado dorsalmente ao bulbo e à ponte, contribuindo para a formação do tecto do IV ventrículo. Repousa sobre a fossa cerebelar do osso occipital e está separado do lobo occipital do cérebro por uma prega da dura-máter denominada *tenda do cerebelo.* Liga-se à medula e ao bulbo pelo *pedúnculo cerebelar inferior* e à ponte e mesencéfalo pelos *pedúnculos cerebelares médio* e *superior,* respectivamente. As funções do cerebelo, relacionadas com o equilíbrio e a coordenação dos movimentos, serão estudadas no Capítulo 24, juntamente com sua estrutura e suas conexões.

2.0 — ALGUNS ASPECTOS ANATÔMICOS

Anatomicamente, distingue-se no cerebelo uma porção ímpar e mediana, o *vérmis,* ligado a duas grandes massas laterais, os *hemisférios cerebelares* (Figs. 6.1 c 6.2). O vérmis é pouco separado dos hemisférios na face superior do cerebelo, o que não ocorre na face inferior, onde dois sulcos bem evidentes o separam das partes laterais (Fig. 6.2).

A superfície do cerebelo apresenta sulcos de direção predominantemente transversal, que delimitam lâminas finas denominadas *folhas do cerebelo.* Existem também sulcos mais pronunciados, as *fissuras do cerebelo,* que delimitam lóbulos, cada um deles podendo conter várias

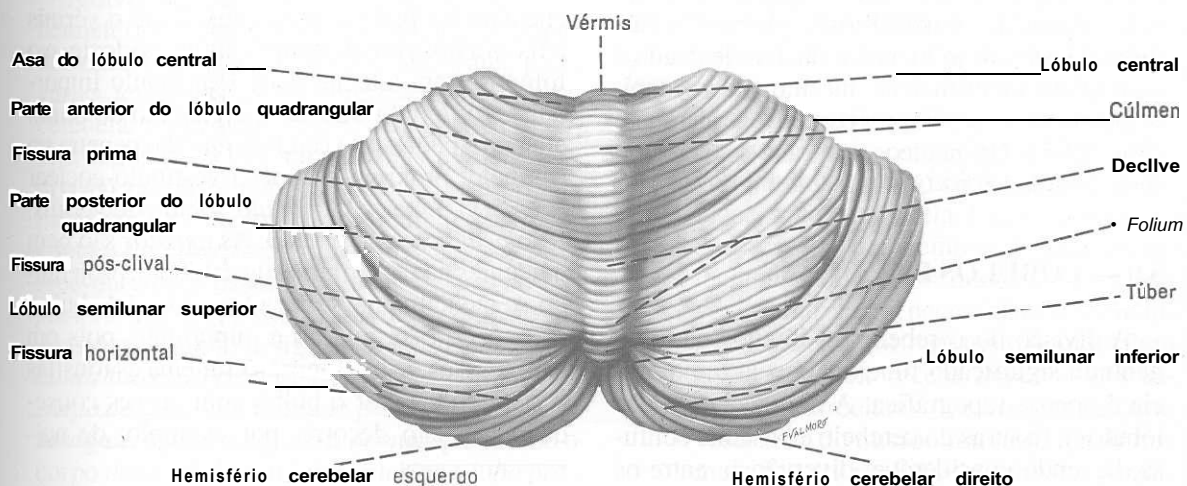



Fig. 6.1 — *Vista súpero-dorsal do cerebelo.*

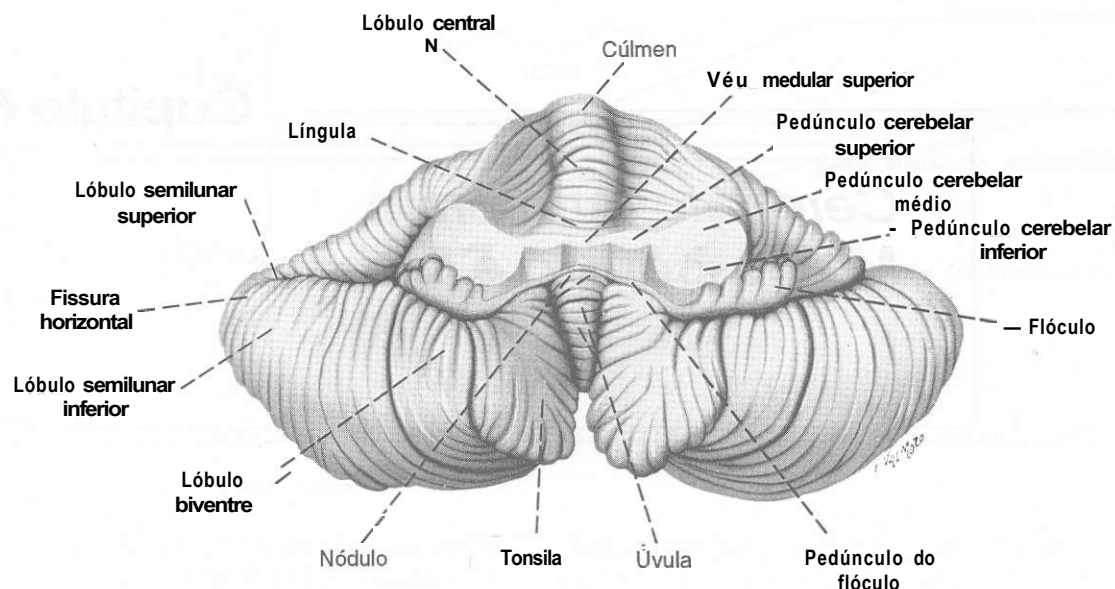



Fig. 6.2 — *Vista ventral do cerebelo após secção dos pedúnculos cerebelares.*

folhas. Esta disposição, visível na superfície do cerebelo (Fig. 6.1), é especialmente evidente em secções do órgão, que dão também uma idéia de sua organização interna (Fig. 6.3). Vê-se assim que o cerebelo é constituído de um centro dc substância branca, o *corpo medular do cerebelo,* de onde irradiam as *lâminas brancas do cerebelo,* revestidas externamente por uma tina camada de substância cinzenta, o *córtex cerebelar.* O corpo medular do cerebelo com as lâminas brancas que dele irradiam, quando vistas em cortes sagitais, receberam o nome de *árvore da vida.* No interior do corpo medular existem quatro pares de núcleos de substância cinzenta, que são os *núcleos centrais do cerebelo:* denteado, emboliforme, globoso e fastigial. Destes, pelo menos o núcleo denteado é facilmente identificável, mesmo macroscopicamente, em secções horizontais do cerebelo (Fig. 22.5). Os núcleos centrais do cerebelo serão estudados no Capítulo 24.

3.0 — LÓBULOS E FISSURAS

A divisão do cerebelo em lóbulos não tem nenhum significado funcional e sua importância é apenas topográfica. A nomenclatura dos lóbulos e fissuras do cerebelo é bastante confusa, havendo considerável divergência entre os autores. Os lóbulos recebem denominações diferentes no vérmis e nos hemisférios. A cada lóbulo do vérmis correspondem dois nos hemisférios (Fig. 6.4), conforme indicado na Tabela 6.1, onde estão assinaladas também as fissuras que os separam.

O estudo dos lóbulos do cerebelo deve ser feito de preferência em peças em que o vérmis é seccionado sagitalmente, o que permite uma identificação mais fácil das fissuras (Fig. 6.3)*. Um bom sistema consiste em separar as fissuras com pedaços de cartolina. Algumas considerações poderão ser úteis para a identificação de certos lóbulos. A *língula* está quase sempre aderida ao véu medular superior. O *folium* consiste apenas de uma folha do vérmis. Para encontrá-lo, pode-se acompanhar até o vérmis a fissura horizontal, sempre muito evidente, e o folium estará adiante dela. Um lóbulo importante é o *flóculo,* situado logo abaixo do ponto em que o pedúnculo cerebelar médio penetra no cerebelo, próximo ao nervo vestíbulo-coclear (Fig. 5.1). Liga-se ao *nódulo,* lóbulo do vérmis, pelo *pedúnculo do flóculo.* As *tonsilas* são bem evidentes na face inferior do cerebelo, projetando-se medialmente sobre a face dorsal do bulbo (Fig. 6.2). Esta relação é importante, pois em certos casos de hipertensão craniana as tonsilas podem comprimir o bulbo com graves conseqüências. Isto decorre, por exemplo, de aci-

* *De outro modo, o aluno acabará "fazendo" algumas fissuras.*

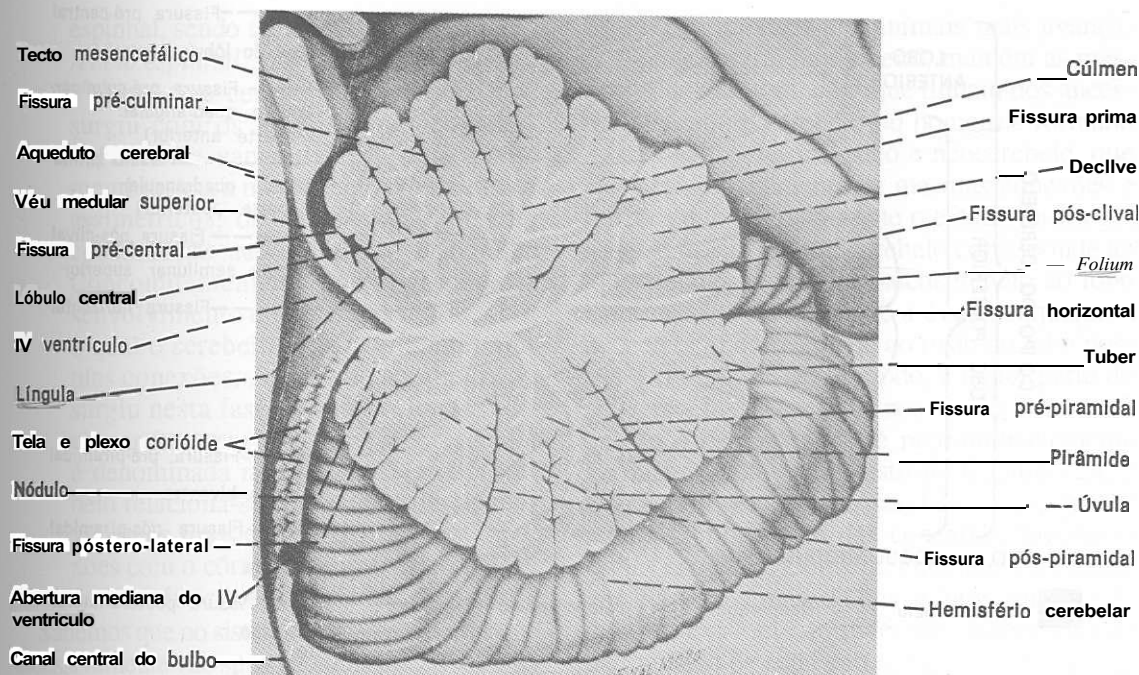
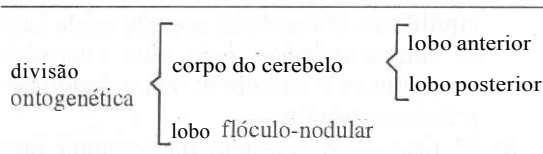



Fig. 6.3 — *Secção sagital mediana do cerebelo.*

dente nas punções lombares, quando a retirada do liquor diminui subitamente a pressão no espaço subaracnóideo da medula. Neste caso, estando aumentada a pressão intracraniana, as tonsilas podem ser deslocadas caudalmente, penetrando no forame magno e comprimindo o bulbo (Fig. 9.6).

4.0 — DIVISÃO ONTOGENÉTICA E FILOGENÉTICA DO CEREBELO

A divisão puramente anatômica em vérmis e hemisférios cerebelares é inadequada do ponto de vista funcional e clínico. Surgiram, pois, várias tentativas de se agruparem os lóbulos cerebelares em áreas maiores, *lobos,* que tivessem significação funcional mais evidente. A divisão proposta por Larsell baseia-se principalmente na ontogênese do cerebelo e leva em conta o fato de que a primeira fissura que aparece durante o desenvolvimento do órgão é a *póstero-lateral.* Assim, ela divide o cerebelo em duas partes muito desiguais: o *lobo flóculo-nodular,* formado pelo flóculo e pelo nódulo; e o *corpo do cerebelo,* formado pelo resto do órgão. A seguir, aparece a *fissura prima,* que divide o corpo do cerebelo em *lobo anterior* e *lobo posterior* (Fig. 6.4). Temos a seguinte divisão:

De grande importância e a *divisão filogenética do cerebelo,* cuja compreensão exige o conhecimento de alguns aspectos da filogênese do órgão.

Os estudos de anatomia comparada indicam a existência de três fases na filogênese do cerebelo, as quais podem ser correlacionadas com a complexidade de movimentos realizados pelo grupo de vertebrados característico de cada fase:

a) 1ª fase — a primeira fase da evolução do cerebelo surgiu com o aparecimento dos vertebrados mais primitivos, os ciclóstomos, como a lampréia. Estes animais são desprovidos de membros e têm movimentos ondulatórios muito simples, havendo, entretanto, necessidade de se manterem em equilíbrio no meio líquido. Para isso, o cerebelo recebe impulsos dos canais semicirculares (localizados na parte vestibular do ouvido interno), que informam sobre a posição do animal e permitem ao cerebelo coordenar a atividade

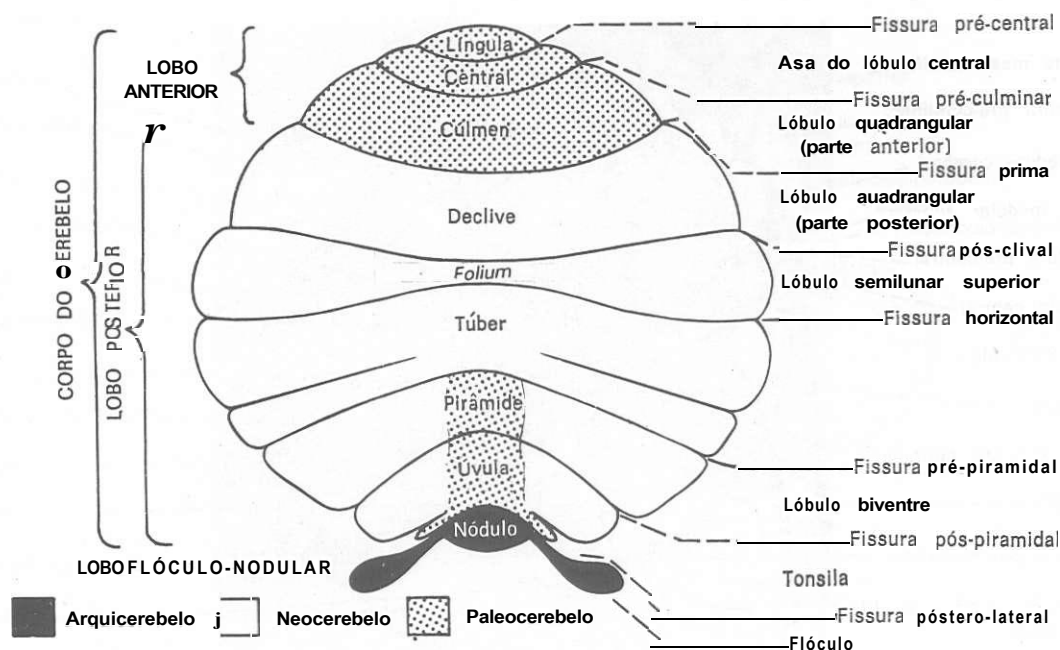



Fig. 6.4 — *Esquema das divisões do cerebelo em um só plano, mostrando também as fissuras e os lóbulos.*

muscular, de modo a manter o animal em equilíbrio. O cerebelo surgido nesta fase se chama *arquicerebelo,* tem conexões vestibulares e é também denominado *cerebelo vestibular;*

b) 2ª fase — o cerebelo da segunda fase surgiu com os peixes. Estes já possuem membros (nadadeiras) e são capazes de realizar movimentos mais elaborados que os ciclóstomos. Neles surgiram, pela primeira vez, receptores especiais denominados fusos neuromusculares e órgãos neurotendíneos, que originam impulsos nervosos denominados proprioceptivos, os quais, após um trajeto pela medula espinhal e bulbo, chegam ao cerebelo, levando informações sobre o grau de contração dos músculos. Estas informações são importantes para a regulação do tônus muscular e da postura do animal. A parte do cerebelo que surgiu nesta fase, adicionando-se ao arquicerebelo, é denominada *paleocerebelo.* O paleocerebelo tem conexões principalmente com a medula

Tabela 6.1
Lóbulos e Fissuras do Cerebelo

Vérmis	*Hemisférios*	*Fissuras*
língula	—	pré-central
lóbulo central	asa do lóbulo central	pré-culminar
cúlmen	parte anterior do lóbulo quadrangular	prima
declive	parte posterior do lóbulo quadrangular	pós-clival
folium	lóbulo semilunar superior	horizontal
túber	lóbulo semilunar inferior	pré-piramidal
pirâmide	lóbulo biventre	pós-piramidal
úvula	tonsila	póstero-lateral
nódulo	flóculo	

espinhal, sendo também denominado *cerebelo espinhal*;

c) 3ª fase — o cerebelo de terceira fase surgiu com os mamíferos que desenvolveram a capacidade de utilizar os membros para movimentos delicados e assimétricos, os quais requerem uma coordenação nervosa muito elaborada. Concomitantemente houve grande desenvolvimento do córtex cerebral, com o qual o cerebelo passou a manter amplas conexões. A parte do cerebelo que surgiu nesta fase de sua evolução, adicionando-se ao arqui e ao paleocerebelo, é denominada *neocerebelo.* O neocerebelo relaciona-se com o controle de movimentos finos e, em vista de suas conexões com o córtex cerebral, é denominado também *cerebelo cortical.*

Sabemos que no sistema nervoso as partes que sucessivamente vão surgindo durante a evolução continuam a existir nos animais mais avançados, onde, de um modo geral, mantêm as mesmas conexões e funções que tinham nos ancestrais. Assim, o cerebelo do homem é formado de três partes: arqui, páleo e neocerebelo, que têm aproximadamente as mesmas conexões e funções que vimos durante o estudo da filogênese do órgão. O arquicerebelo corresponde ao lobo flóculo-nodular, o paleocerebelo ao lobo anterior mais a pirâmide e a úvula, enquanto o neocerebelo corresponde ao resto do lobo posterior (Fig. 6.4). Deste modo, a maior parte do neocerebelo se localiza nos hemisférios, enquanto o paleocerebelo é predominantemente vermiano. Como será visto no Capítulo 24, a divisão filogenética do cerebelo é importante para a compreensão das conexões, funções e lesões do órgão. Convém, entretanto, assinalar que, embora a maioria dos autores admita esta divisão, existem controvérsias quanto à exata delimitação de cada parte.

Capítulo 7

Anatomia Macroscópica do Diencéfalo

1.0 — GENERALIDADES

0 diencéfalo e o telencéfalo formam o cérebro, que corresponde, pois, ao prosencéfalo. O cérebro é a porção mais desenvolvida e mais importante do encéfalo, ocupando cerca de 80% da cavidade craniana. Os dois componentes que o formam, diencéfalo e telencéfalo, embora intimamente unidos, apresentam características próprias e são usualmente estudados em separado. Como já foi exposto no Capítulo 2, o telencéfalo se desenvolve enormemente em sentido lateral e posterior para constituir os hemisférios cerebrais (Fig. 2.5). Deste modo, encobre quase completamente o diencéfalo, que permanece em situação ímpar e mediana, podendo ser visto apenas na face inferior do cérebro. O diencéfalo compreende as seguintes partes: *tálamo, hipotálamo, epitálamo* e *subtálamo,* todas em relação com o III ventriculo. É, pois, conveniente que o estudo de cada uma destas partes seja precedido de uma descrição do III ventriculo.

2.0 — III VENTRÍCULO

A cavidade do diencéfalo é uma estreita fenda ímpar e mediana denominada III ventrículo, que se comunica com o IV ventriculo pelo aqueduto cerebral e com os ventrículos laterais pelos respectivos *forames interventriculares* (ou de Monro).

As Figs. 5.2 e 8.7 dão uma idéia da situação e da forma deste ventriculo. Quando o cérebro é seccionado no plano sagital mediano, as paredes laterais do III ventriculo são expostas amplamente (Fig. 8.4). Verifica-se, então, a existência de uma depressão, o *sulco hipotalâmico,* que se estende do aqueduto cerebral até o forame interventricular. As porções da parede situadas acima deste sulco pertencem ao tálamo e as situadas abaixo, ao hipotálamo. Unindo os dois tálamos e, por conseguinte, atravessando em ponte a cavidade ventricular, observa-se freqüentemente uma trave de substância cinzenta, a *aderência intertalâmica** que aparece seccionada na Fig. 8.4.

No assoalho do III ventriculo dispõem-se de diante para trás as seguintes formações, que serão estudadas nos itens seguintes: *quiasma óptico, infundíbulo, túber cinéreo* e *corpos mamilares,* pertencentes ao hipotálamo.

A parede posterior do ventriculo, muito pequena, é formada pelo epitálamo, que se localiza acima do sulco hipotalâmico. Saindo de cada lado do epitálamo e percorrendo a parte mais alta das paredes laterais do ventriculo, há um feixe de fibras nervosas, as *estrias medulares do tálamo,* onde se insere a *tela corióide,* que forma o tecto do III ventrículo** (Fig. 5.2). A partir da tela corióide invaginam-se na luz ventricular os *plexos corióides* do *III ventriculo,* que

* *A aderência intertalâmica de brasileiros adultos foi estudada por Sampaio e Cunha (1972), que, examinando 108 cérebros, encontraram ausente em 29,5% dos casos, sendo o número de ausências maior no negro que no branco (Sampaio, J. R. e Cunha. J. A. F. — 1972 — Neurobiologia, Recife, 35:17-26).*

** *Também aqui, como no IV ventrículo, quando se remove a tela corióide, suas bordas rotas permanecem aderidas às estrias medulares, constituindo as tênias do III ventrículo.*

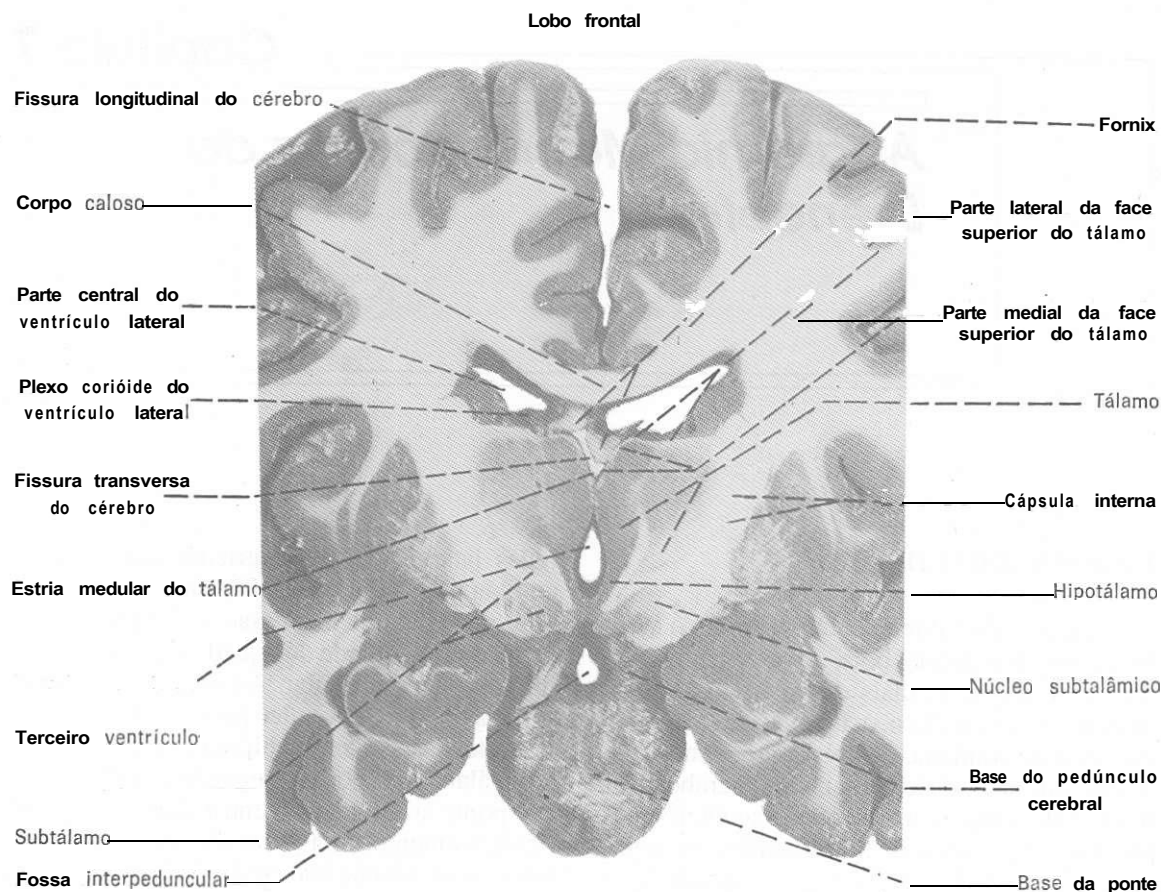



Fig. 7.1 — *Secção frontal do cérebro passando pelo III ventrículo.*

se dispõem em duas linhas paralelas e são contínuos através dos respectivos forames interventriculares com os plexos corióides dos ventrículos laterais (Fig. 9.3).

A parede anterior do III ventrículo é formada pela lâmina terminal, fina lâmina de tecido nervoso que une os dois hemisférios e se dispõe entre o quiasma óptico e a comissura anterior (Fig. 8.4). A comissura anterior, a lâmina terminal e as partes adjacentes das paredes laterais do III ventrículo pertencem ao telencéfalo, pois derivam da parte central não evaginada da vesícula telencefálica do embrião. A luz do III ventrículo se evagina para formar quatro recessos (Fig. 8.7): na região do infundíbulo, *recesso do infundíbulo*, outro acima do quiasma óptico, *recesso óptico*; um terceiro na haste da glândula pineal, *recesso pineal* e, finalmente, o *recesso suprapineal,* acima do corpo pineal, este último impossível de ser identificado nas peças em que o tecto do III ventrículo tenha sido removido.

3.0 — TÁLAMO (Figs. 5.2, 7.1, 8.4)

Os tálamos são duas massas volumosas de substância cinzenta, de forma ovóide, dispostas uma de cada lado, na porção látero-dorsal do diencéfalo. A extremidade anterior de cada tálamo apresenta uma eminência, o *tubérculo anterior do tálamo,* que participa na delimitação do forame interventricular. A extremidade posterior, consideravelmente maior que a anterior, apresenta uma grande eminência, o *pulvinar,* que se projeta sobre os corpos geniculados lateral e medial (Fig. 5.2), formações talâmicas já referidas no estudo do tecto mesencefálico. O corpo geniculado medial faz parte da via auditiva; o lateral, da via óptica, e ambos são considerados por alguns autores como cons-

tituindo uma divisão do diencéfalo denominada *metatálamo.* A porção lateral da *face superior do tálamo* (Fig. 5.2) faz parte do assoalho do ventrículo lateral, sendo, por conseguinte, revestido de epitélio ependimário*; a porção medial constitui, juntamente com o tecto do III ventrículo, o *assoalho da fissura transversa do cérebro* (Figs. 7.1, 8.4), cujo tecto é constituído pelo fórnix e pelo corpo caloso, formações telencefálicas. A fissura transversa é ocupada por um fundo-de-saco da pia-máter, cujo folheto inferior recobre a parte medial da face superior do tálamo e, a seguir, entra na constituição da tela corióide, que forma o tecto do III ventrículo. Como já foi exposto, esta tela corióide se insere nas estrias medulares que marcam o limite entre a face superior e a *face medial do tálamo.* Esta última forma a maior parte das paredes laterais do III ventrículo e já foi descrita a propósito desta cavidade.

A *face lateral do tálamo* é separada do telencéfalo pela *cápsula interna,* compacto feixe de fibras que liga o córtex cerebral a centros nervosos subcorticais (Fig. 7.1). A *face inferior do tálamo* continua com o hipotálamo e o subtálamo, que serão descritos a seguir.

4.0 — HIPOTÁLAMO (Figs. 5.1, 7.1, 8.6)

O hipotálamo é uma área relativamente pequena do diencéfalo, situada abaixo do tálamo, com importantes funções, relacionadas principalmente com o controle da atividade visceral. A análise funcional do hipotálamo será feita em outro capítulo, juntamente com o estudo de sua estrutura e de suas conexões.

O hipotálamo compreende estruturas situadas nas paredes laterais do III ventrículo, abaixo do sulco hipotalâmico, além das seguintes formações do assoalho do III ventrículo, visíveis na base do cérebro (Fig. 8.6).

a) *corpos mamilares* — são duas eminências arredondadas de substância cinzenta evidentes na parte anterior da fossa interpeduncular;
b) *quiasma óptico* — localiza-se na parte anterior do assoalho ventricular. Recebe as fibras mielínicas dos *nervos ópticos,* II par craniano, que aí cruzam em parte e continuam nos tractos ópticos que se dirigem aos corpos geniculados laterais, depois de contornar os pedúnculos cerebrais;
c) *túber cinéreo* — é uma área ligeiramente cinzenta, mediana, situada atrás do quiasma e dos tractos ópticos, entre estes e os corpos mamilares. No túber cinéreo prende-se a hipófise por meio do infundíbulo;
d) *infundíbulo* — é uma formação nervosa em forma de funil que se prende ao túber cinéreo, contendo um pequeno prolongamento da cavidade ventricular, o recesso do infundíbulo. A extremidade superior do infundíbulo dilata-se para constituir a *eminência mediana do túber cinéreo,* enquanto sua extremidade inferior continua com o processo infundibular, ou lobo nervoso da neuro-hipófise. Em geral, quando os encéfalos são retirados do crânio, o infundíbulo se rompe, permanecendo com a hipófise na cela túrcica da base do crânio. Assim, na maioria dos cérebros à disposição dos alunos, observa-se no túber cinéreo apenas um orifício, correspondendo ao recesso do infundíbulo no ponto em que este se rompeu.

5.0 — EPITÁLAMO

O epitálamo limita posteriormente o III ventrículo, acima do sulco hipotalâmico, já na transição com o mesencéfalo. Seu elemento mais evidente é a *glândula pineal,* ou *epífise,* glândula endócrina de forma piriforme, ímpar e mediana, que repousa sobre o tecto mesencefálico (Fig. 5.2). A base do corpo pineal prende-se anteriormente a dois feixes transversais de fibras que cruzam o plano mediano, a *comissura posterior* e a *comissura das habênulas* (Fig. 8.4), entre as quais penetra na glândula pineal um pequeno prolongamento da cavidade ventricular, o *recesso pineal. A* comissura posterior situa-se no ponto em que o aqueduto cerebral se liga ao III ventrículo e é considerada como limite entre o mesencéfalo e diencéfalo. A comissura das habênulas interpõe-se entre duas pequenas eminências triangulares, os *trígonos da habênula* (Fig. 5.2), situados entre a glândula pineal e o tálamo; continua anteriormente, de cada lado, com as *estrias medulares do tálamo.* A tela

* *O epitélio ependimário que reveste esta parte do tálamo é denominado* lâmina afixa.

corióide do III ventriculo insere-se, lateralmente. nas estrias medulares do tálamo e, posteriormente, na comissura das habênulas (Fig. X.4), fechando, assim, o tecto do III ventriculo.

6.0 — SUBTÁLAMO

O *subtálamo* compreende a zona dc transição entre o diencéfalo e o tegmento do mesencéfalo. É de difícil visualização nas peças de rotina, pois não se relaciona com as paredes do III ventriculo, podendo mais facilmente ser observado em cortes frontais do cérebro (Fig. 7.1). Verifica-se, então, que ele se localiza abaixo do tálamo, sendo limitado lateralmente pela cápsula interna e medialmente pelo hipotálamo. O elemento mais evidente do subtálamo é o *núcleo subtalâmico*(Fig. 7.1).

Capítulo 8

Anatomia Macroscópica do Telencéfalo

1.0 — GENERALIDADES

O telencéfalo compreende os dois hemisférios cerebrais, direito e esquerdo, e uma pequena parte mediana situada na porção anterior do III ventriculo e já estudada a propósito desta cavidade.

Os dois hemisférios cerebrais são incompletamente separados pela *fissura longitudinal do cérebro,* cujo assoalho é formado por uma larga faixa de fibras comissurais, o *corpo caloso* (Fig. 7.1), principal meio de união entre os dois hemisférios. Os hemisférios cerebrais possuem cavidades, os *ventrículos laterais direito* e *esquerdo,* que comunicam com o III ventriculo pelos *forames interventriculares.*

Cada hemisfério possui três pólos: *frontal, occipital* e *temporal;* e três faces: *face súpero-lateral,* convexa; *face medial,* plana, e *face inferior,* ou *base do cérebro,* muito irregular, repousando anteriormente nos andares anterior e médio da base do crânio e posteriormente na tenda do cerebelo.

2.0 — SULCOS E GIROS. DIVISÃO EM LOBOS

A superfície do cérebro do homem e de vários animais apresenta depressões denominadas *sulcos,* que delimitam os *giros* ou *circunvoluções cerebrais.* A existência dos sulcos permite considerável aumento de superfície sem grande aumento do volume cerebral e sabe-se que cerca de dois terços da área ocupada pelo córtex cerebral estão "escondidos" nos sulcos.

Muitos sulcos são inconstantes e não recebem qualquer denominação; outros, mais constantes, recebem denominações especiais e ajudam a delimitar os lobos e as áreas cerebrais. De qualquer modo, o padrão de sulcos e giros do cérebro varia em cada cérebro, podendo ser diferente nos dois hemisférios de um mesmo indivíduo. Em cada hemisfério cerebral, os dois sulcos mais importantes são o *sulco lateral* (de Sylvius) e o *sulco central* (de Rolando), que serão descritos a seguir:

a) *sulco lateral* (Figs. 8.1, 8.2, 8.6) — Inicia-se na base do cérebro lateralmente à substância perfurada anterior (Fig. 8.6), como uma fenda profunda que, separando o lobo frontal do lobo temporal, dirige-se para a face súpero-lateral do cérebro, onde termina dividindo-se em três ramos: *ascendente, anterior* e *posterior* (Fig. 8.2). Os ramos ascendente e anterior são curtos e penetram no lobo frontal; o ramo posterior é muito mais longo, dirige-se para trás e para cima, terminando no lobo parietal. Separa o *lobo temporal,* situado abaixo, dos *lobos frontal* e *parietal,* situados acima (Fig. 8.1);

b) *sulco central* (Figs. 8.1, 8.2) — É um sulco profundo e geralmente contínuo, que percorre obliquamente a face súpero-lateral do hemisfério, separando os lobos frontal e parietal. Inicia-se na face medial do hemisfério, aproximadamente no meio de sua borda dorsal e a partir deste ponto dirige-se para diante e para baixo, em direção ao ramo posterior do sulco lateral, do qual é separado por uma pequena pre-

ga cortical. É ladeado por dois giros paralelos, um anterior, ***giro** pré-central,* e outro posterior, ***giro** pós-central.*

De modo geral, as áreas situadas adiante do sulco central relacionam-se com a motricidade, enquanto as situadas atrás deste sulco relacionam-se com a sensibilidade.

Os sulcos cerebrais ajudam a delimitar os ***lobos cerebrais,*** como já ficou evidenciado na descrição dos sulcos lateral e central. Os lobos cerebrais recebem sua denominação de acordo com os ossos do crânio, com os quais se relacionam. Assim, temos os lobos ***frontal, temporal, parietal*** e ***occipital.*** Além destes, existe um quinto lobo, a ***insula,*** situado profundamente no sulco lateral e que não tem, por conseguinte, relação imediata com os ossos do crânio (Fig. 8.3). A divisão em lobos, embora de grande importância clínica, não corresponde a uma divisão funcional, exceto pelo lobo occipital, que parece estar todo, direta ou indiretamente, relacionado com a visão.

O lobo frontal localiza-se acima do sulco lateral e adiante do sulco central (Fig. 8.1 A). Na face medial do cérebro, o limite anterior do lobo occipital é o *sulco parieto-occipital* (Fig. 8.1B). Na sua face súpero-lateral este limite é arbitrariamente situado em uma linha imaginária que une a terminação do sulco ***parieto-occipital,*** na borda superior do hemisfério, à *incisura* ***pré-occipital,*** situada na borda ínfero-lateral, cerca de 4cm do pólo occipital (Fig. 8.1A). Do meio desta linha parte uma segunda linha imaginária em direção no ramo posterior do sulco lateral e

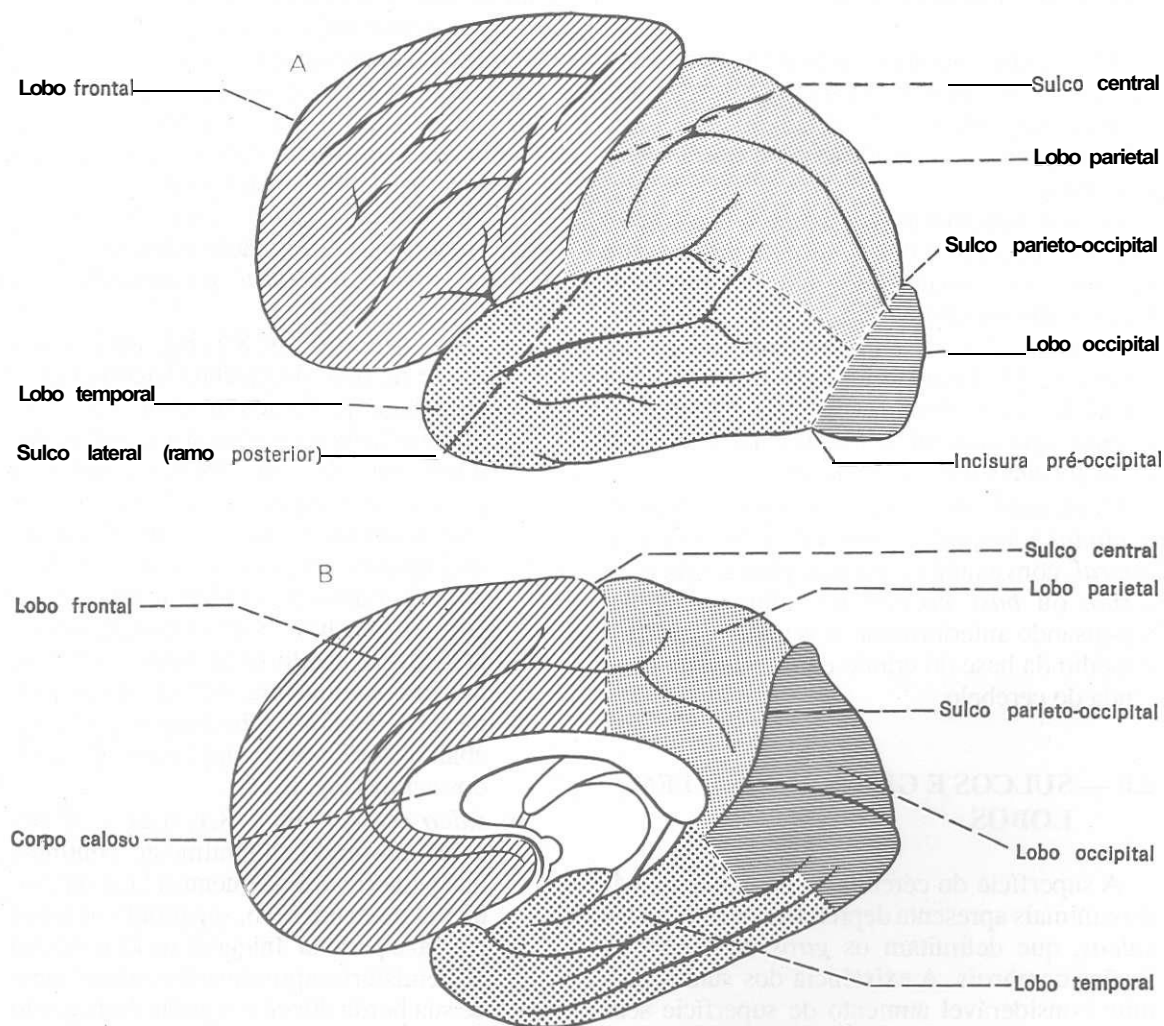



Fig. 8.1-A — *Lobos do cérebro vistos lateralmente.* B — *Lobos do cérebro vistos medialmente (reproduzidos dc Dangelo e Fattini, Anatomia Humana Básica, Atheneu, Rio dc Janeiro).*

que, juntamente com este ramo, limita o lobo temporal do lobo parietal (Fig. 8.1A).

Passaremos a seguir a descrever os sulcos e giros mais importantes de cada lobo, estudando sucessivamente as três faces de cada hemisfério. A descrição deve ser acompanhada nas peças anatômicas com o auxílio das figuras, levando-se em conta que elas representam o padrão mais freqüente, o qual, em virtude do grande número de variações, nem sempre corresponde à peça anatômica de que se dispõe. Assim, os sulcos são, às vezes, muito sinuosos e podem ser interrompidos por pregas anastomóticas, que unem giros vizinhos, dificultando sua identificação. Para facilitar o estudo, é aconselhável que se observe mais de um hemisfério cerebral.

3.0 — MORFOLOGIA DAS FACES DOS HEMISFÉRIOS CEREBRAIS

3.1 — FACE SÚPERO-LATERAL

A face súpero-lateral do cérebro, ou *face convexa,* é a maior das faces cerebrais, relacionando-se com todos os ossos que formam a abóbada craniana. Nela estão representados os cinco lobos cerebrais que serão estudados a seguir.

3.1.1 — Lobo Frontal (Fig. 8.2)

Identificam-se em sua superfície três sulcos principais:

a) *sulco pré-central* — mais ou menos paralelo ao sulco central e muitas vezes dividido em dois segmentos;
b) *sulco frontal superior* — inicia-se geralmente na porção superior do sulco pré-central e tem direção aproximadamente perpendicular a ele;
c) *sulco frontal inferior* — partindo da porção inferior do sulco pré-central, dirige-se para frente e para baixo.

Entre o sulco central, já descrito no item 2.0 b, e o sulco pré-central está o *giro pré-central,* onde se localiza a área motora principal do cérebro. Acima do sulco frontal superior, continuando, pois, na face medial do cérebro, localiza-se o *giro frontal superior.* Entre os sulcos frontal superior e frontal inferior está o *giro frontal médio,* abaixo do sulco frontal inferior, o *giro frontal inferior.* Este último é subdividido pelos ramos anterior e ascendente do sulco lateral em três partes: *orbital, triangular* e *opercular. A* primeira situa-se abaixo do ramo anterior, a segunda entre este ramo e o ramo ascendente, e a última entre o ramo ascendente e o sulco pré-central (Figs. 8.1, 8.2). O giro frontal inferior do hemisfério cerebral esquerdo é denominado *giro de Broca,* e aí se localiza, na maioria dos indivíduos, o centro cortical da palavra falada.

3.1.2 — Lobo Temporal (Fig. 8.2)

Apresenta na face súpero-lateral do cérebro dois sulcos principais:

a) *sulco temporal superior* — inicia-se próximo ao pólo temporal e dirige-se para trás, paralelamente ao ramo posterior do sulco lateral, terminando no lobo parietal;
b) *sulco temporal inferior* — paralelo ao sulco temporal superior, é geralmente formado por duas ou mais partes descontínuas.

Entre os sulcos lateral e temporal superior está o *giro temporal superior,* entre os sulcos temporal superior e o temporal inferior situa-se o *giro temporal médio;* abaixo do sulco temporal inferior localiza-se o *giro temporal inferior,* que se limita com o *sulco occípito-temporal,* geralmente situado na face inferior do hemisfério cerebral. Afastando-se os lábios do sulco lateral, aparece seu assoalho, que é parte do giro temporal superior. A porção posterior deste assoalho é atravessada por pequenos giros transversais, os *giros temporais transversos,* dos quais o mais evidente, o *giro temporal transverso anterior* (Fig. 8.3), é importante, pois nele se localiza o centro cortical da audição.

3.1.3 — Lobos Parietal e Occipital (Fig. 8.2)

O lobo parietal apresenta dois sulcos principais:

a) *sulco pós-central* — quase paralelo ao sulco central, é freqüentemente dividido em dois segmentos, que podem estar mais ou menos distantes um do outro;
b) *sulco intraparietal* — muito variável e geralmente perpendicular ao pós-central, com o qual pode estar unido, estende-se para trás para terminar no lobo occipital.

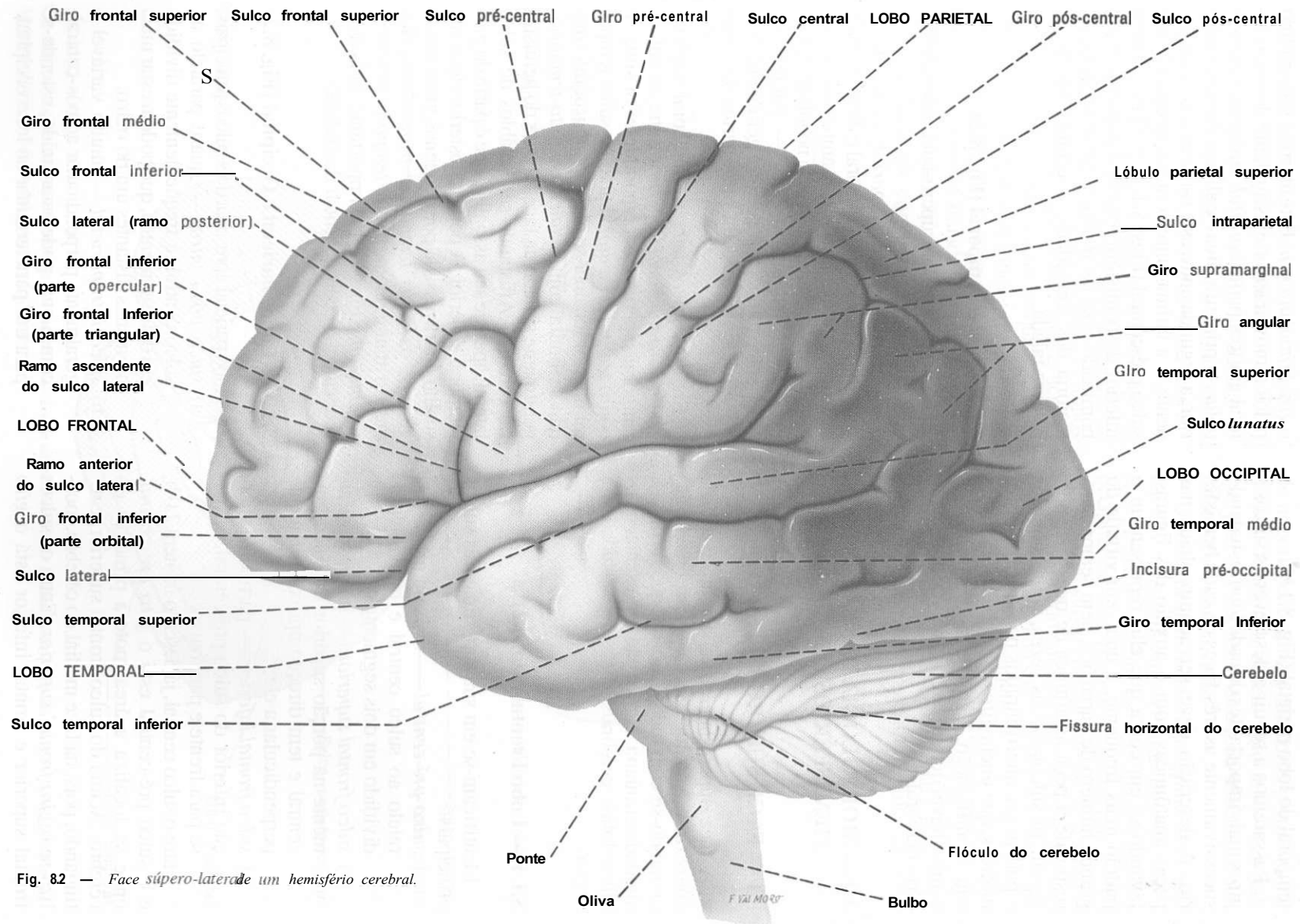



Fig. 8.2 — *Face súpero-lateral de um hemisfério cerebral.*

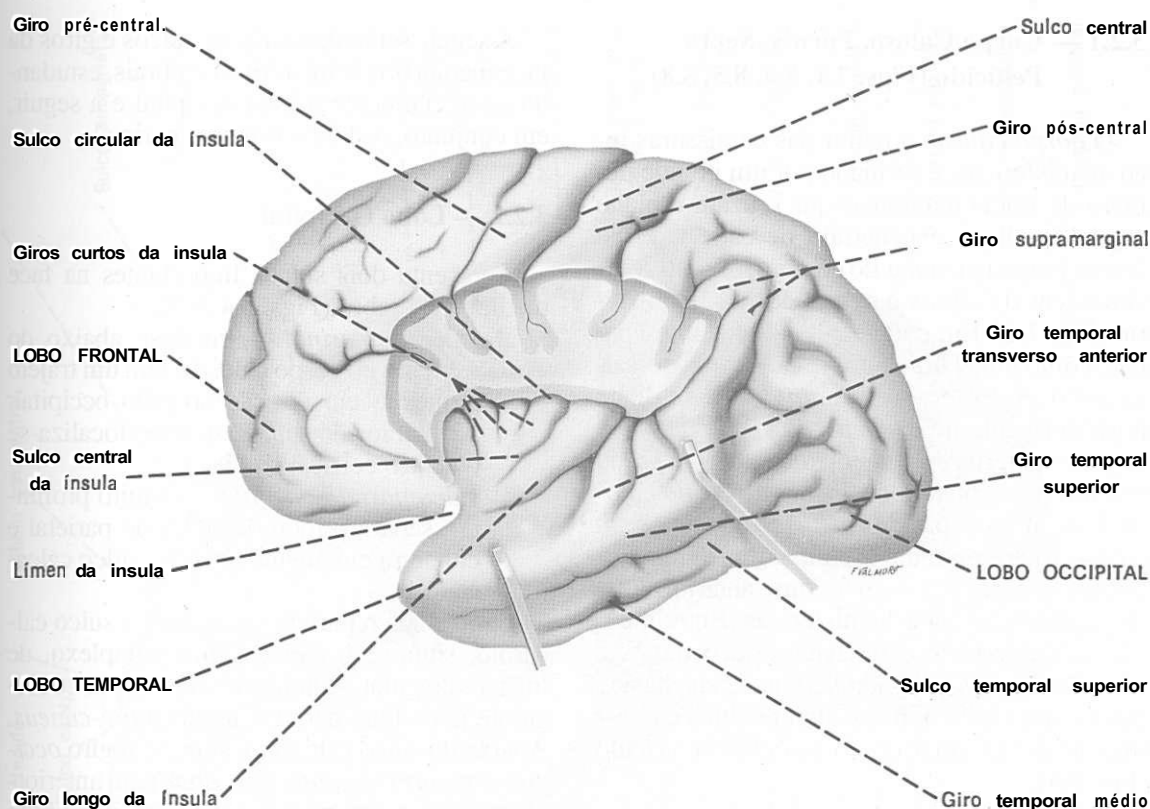



Fig. 8.3 — *Face súpero-lateral de um hemisfério cerebral após remoção de parte dos lobos frontal e parietal para mostrar a ínsula e os giros temporais transversos.*

Entre os sulcos central e pós-central fica o ***giro pós-central,*** onde se localiza uma das mais importantes áreas sensitivas do córtex, a área somestésica. O sulco intraparietal separa o ***lóbulo parietal superior*** do ***lóbulo parietal inferior.*** Neste último descrevem-se dois giros: o ***giro supramarginal,*** curvado em torno da extremidade do ramo posterior do sulco lateral, e o ***giro angular,*** curvado em torno da porção terminal e ascendente do sulco temporal superior.

O ***lobo occipital*** ocupa uma porção relativamente pequena da face súpero-lateral do cérebro, onde apresenta pequenos sulcos e giros inconstantes e irregulares*.

3.1.4 — Ínsula (Fig. 8.3)

Afastando-se os lábios do sulco lateral, evidencia-se ampla fossa no fundo da qual está situada a ***insula*** (Fig. 8.3), lobo cerebral que durante o desenvolvimento cresce menos que os demais, razão pela qual é pouco a pouco recoberto pelos lobos vizinhos, frontal, temporal e parietal. A insula tem forma cônica e seu ápice, voltado para baixo e para frente, é denominado ***límen da insula*** (Fig. 8.3). A ínsula apresenta alguns sulcos e giros**.

3.2 — FACE MEDIAL

Para se visualizar completamente esta face, é necessário que o cérebro seja seccionado no plano sagital mediano (Fig. 8.4), o que expõe o diencéfalo e algumas formações telencefálicas inter-hemisféricas como o corpo caloso, o fórnix e o septo pelúcido, que serão descritos a seguir:

* *Por seu interesse antropológico merece referência apenas o inconstante e variável sulco em meia-lua, o* sulco lunatus *(Fig. 8.2). Veja rodapé à p. 74.*

** *São descritos os seguintes (Fig. 8.3): sulco circular da ínsula, sulco central da ínsula, giros curtos e giro longo da ínsula.*

3.2.1 — Corpo Caloso, Fórnix, Septo Pelúcido (Figs. 7.1, 8.4, 8.5, 8.8)

O *corpo caloso,* a maior das comissuras inter-hemisféricas, é formado por um grande número de fibras mielínicas que cruzam o plano sagital mediano e penetram de cada lado no centro branco medular do cérebro, unindo áreas simétricas do córtex cerebral de cada hemisfério (Fig. 7.1). Em corte sagital do cérebro aparece como uma lâmina branca arqueada dorsalmente o *tronco do corpo caloso,* que se dilata posteriormente no *esplênio do corpo caloso* e se flete anteriormente em direção à base do cérebro para constituir o *joelho do corpo caloso.* Este afila-se para formar o *rostro do corpo caloso,* que continua em uma fina lâmina, a *lâmina rostral,* até a *comissura* anterior, uma das comissuras inter-hemisféricas. Entre a comissura anterior e o quiasma óptico temos a *lâmina terminal,* delgada lâmina de substância branca que também une os hemisférios e constitui o limite anterior do terceiro ventrículo (Fig. 8.4).

Emergindo abaixo do esplênio do corpo caloso e arqueando-se em direção à comissura anterior, está o *fórnix,* feixe complexo de fibras que, entretanto, não pode ser visto em toda a sua extensão em um corte sagital de cérebro. É constituído por duas metades laterais e simétricas afastadas nas extremidades e unidas entre si no trajeto abaixo do corpo caloso. A porção intermédia em que as duas metades se unem constitui o *corpo do fórnix;* as extremidades que se afastam são, respectivamente, as *colunas do fórnix,* anteriores, e as *pernas do fórnix,* posteriores (Fig. 8.5). As colunas do fórnix terminam no corpo mamilar correspondente, cruzando a parede lateral do III ventrículo (Fig. 8.5). As pernas do fórnix divergem e penetram de cada lado no corno interior do ventrículo lateral, onde se ligam ao hipocampo, como será visto mais adiante. No ponto em que as pernas do fórnix se separam, algumas fibras passam de um lado para o outro, formando a *comissura do fornix* (Fig. 8.8). Entre o corpo caloso e o fórnix estende-se o *septo pelúcido* (Fig. 8.4), constituído por duas delgadas lâminas de tecido nervoso que delimitam uma cavidade muito estreita, a *cavidade do septo pelúcido.* O septo pelúcido separa os dois ventrículos laterais (Fig. 8.8).

A seguir serão descritos os sulcos e giros da face medial dos hemisférios cerebrais, estudando-se inicialmente o lobo occipital e a seguir, em conjunto, os lobos frontal e parietal.

3.2.2 — Lobo Occipital

Apresenta dois sulcos importantes na face medial do cérebro (Figs. 8.4, 8.5):

a) *sulco calcarino* — inicia-se abaixo do esplênio do corpo caloso e tem um trajeto arqueado em direção ao pólo occipital. Nos lábios do sulco calcarino localiza-se o centro cortical da visão;
b) *sulco parieto-occipital* — muito profundo, separa o lobo occipital do parietal e encontra em ângulo agudo o sulco calcarino.

Entre o sulco parieto-occipital e o sulco calcarino, situa-se o *cúneus,* giro complexo, de forma triangular. Adiante do cúneus, por conseguinte já no lobo parietal, temos o *pré-cúneus.* Abaixo do sulco calcarino, situa-se o giro *occipitotemporal medial,* que continua anteriormente com o giro para-hipocampal, já no lobo temporal.

3.2.3 — Lobos Frontal e Parietal

Na face medial no cérebro existem dois sulcos que passam do lobo frontal para o parietal (Figs. 8.4, 8.5):

a) *sulco do corpo caloso* — começa abaixo do rostro do corpo caloso, contorna o tronco e o esplênio do corpo caloso, onde continua, já no lobo temporal, com o *sulco do hipocampo.*
b) *sulco do cíngulo* — tem curso paralelo ao sulco do corpo caloso, do qual é separado pelo *giro do cíngulo.* Termina posteriormente, dividindo-se em dois ramos: o *ramo margined,* que se curva em direção à margem superior do hemisfério, e o *sulco subparietal,* que continua posteriormente a direção do sulco do cíngulo.

Destacando-se do sulco do cíngulo em direção à margem superior do hemisfério, existe quase sempre o *sulco paracentral,* que delimita com o sulco do cíngulo e seu ramo marginal, o *lóbulo paracentral,* assim denominado em razão de suas relações com o sulco central, cuja extremidade superior termina aproximada-

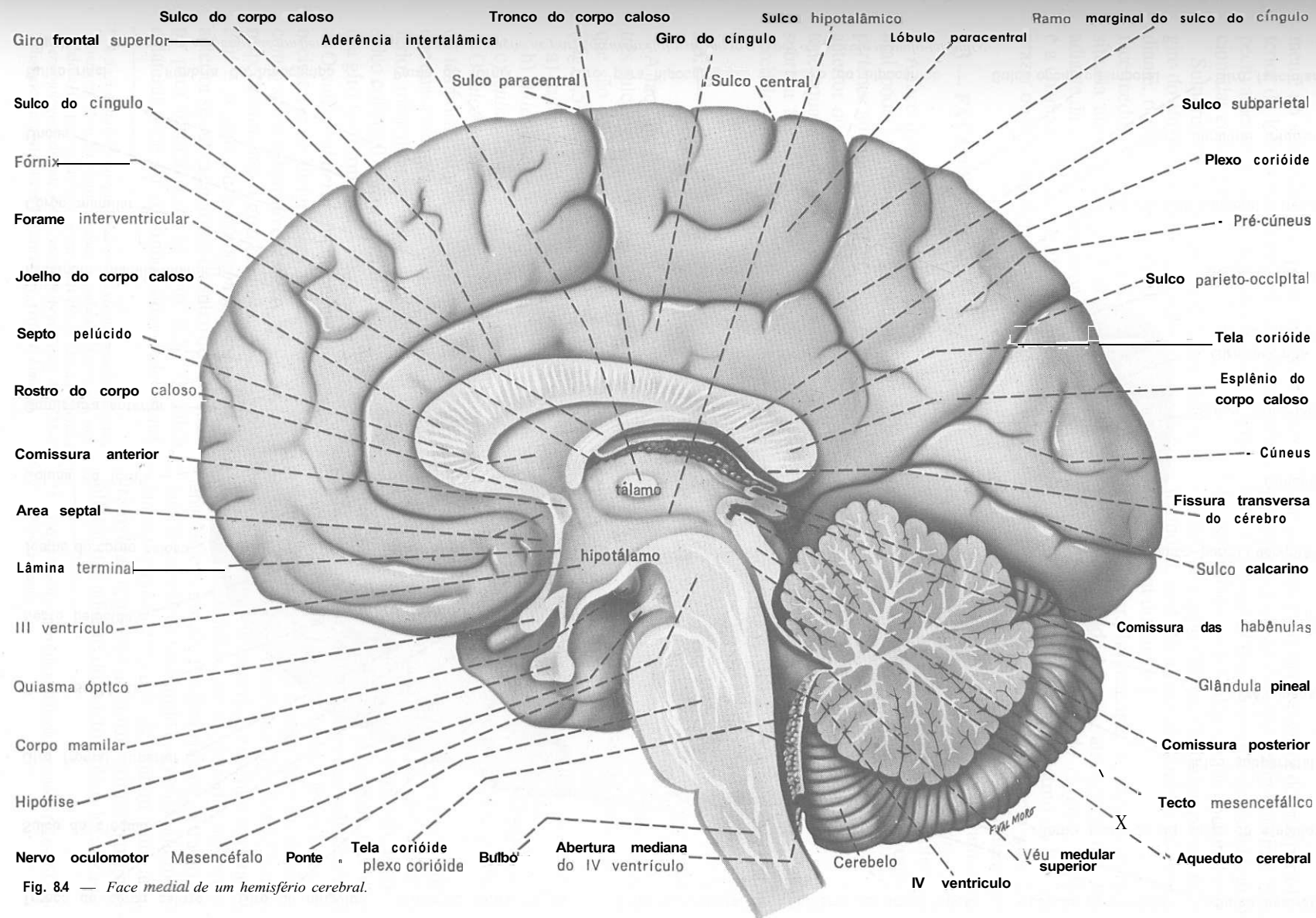



Fig. 8.4 — *Face medial de um hemisfério cerebral.*

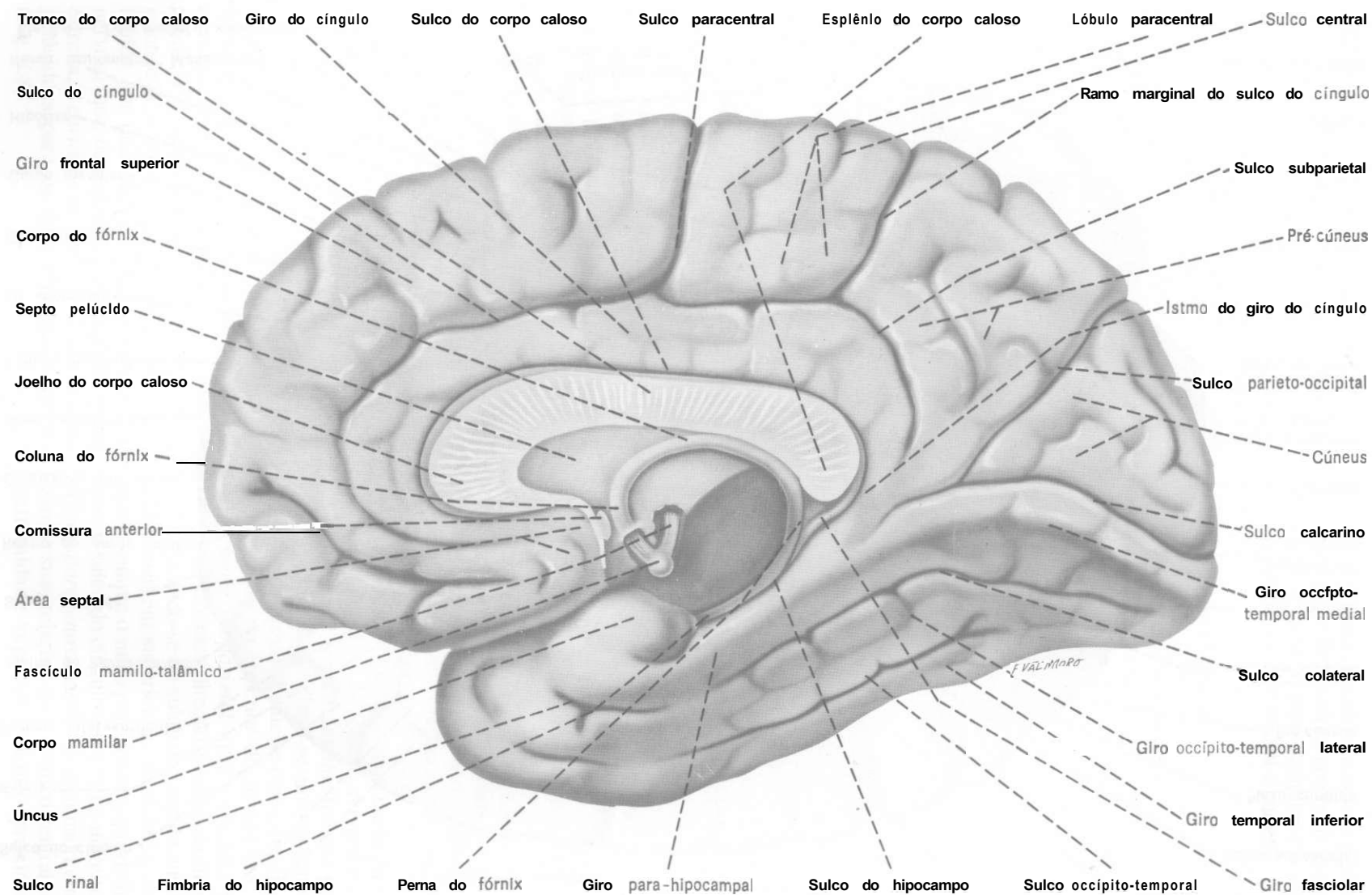



Fig. 8.5 — *Vista medial e inferior de um hemisfério cerebral após remoção de parte do diencéfalo, de modo a expor o fascículo mamilo-talâmico.*

mente no seu meio. Nas partes anterior e posterior do lóbulo paracentral localizam-se, respectivamente, as áreas motora e sensitiva relacionadas com a perna e o pé.

Sumariando, acima do corpo caloso temos o giro do cíngulo; mais acima temos, de trás para diante, o pré-cúneus, o lóbulo paracentral e a face medial do giro frontal superior. A região situada abaixo do rostro do corpo caloso e adiante da comissura anterior à lâmina terminal é a chamada *área septal**, um dos centros do prazer do cérebro (veja Capítulo 27).

3.3 — FACE INFERIOR

A face inferior ou base do hemisfério cerebral pode ser dividida em duas partes: uma pertence ao lobo frontal e repousa sobre a fossa anterior do crânio; a outra, muito maior, pertence quase toda ao lobo temporal e repousa sobre a fossa média do crânio e a tenda do cerebelo.

3.3.1 — Lobo Temporal (Fig. 8.5)

A face inferior do lobo temporal apresenta três sulcos principais de direção longitudinal e que são da borda lateral para a borda medial (Fig. 8.5):

a) *sulco occipitotemporal*
b) *sulco colateral*
c) *sulco do hipocampo*

O *sulco occípito-temporal* limita com o sulco temporal inferior o *giro temporal inferior,* que quase sempre forma borda lateral do hemisfério; medialmente, este sulco limita com o sulco colateral o *giro occípito-temporal lateral* (ou giro fusiforme).

O *sulco colateral* inicia-se próximo ao pólo occipital e se dirige para frente, delimitando com o sulco calcarino e o sulco do hipocampo, respectivamente, o *giro occípito-temporal medial* e o *giro para-hipocampal,* cuja porção anterior se curva em torno do sulco do hipocampo para formar o *úncus* (Fig. 8.5). O sulco colateral pode ser contínuo com o *sulco rinal,* que separa a parte mais anterior do giro para-hipocampal do resto do lobo temporal (Fig. 8.5, 8.6). O *sulco do hipocampo* origina-se na região do esplênio do corpo caloso, onde continua com o sulco do corpo caloso e se dirige para o pólo temporal, onde termina separando o giro para-hipocampal do úncus.

O giro para-hipocampal se liga posteriormente ao giro do cíngulo através de um giro estreito, o *istmo do giro do cíngulo.* Assim, úncus, giro para-hipocampal, istmo do giro do cíngulo e giro do cíngulo constituem uma formação contínua que circunda as estruturas inter-hemisféricas e que muitos consideram como um lobo independente, o *lobo límbico,* parte importante do *sistema límbicò,* relacionado com o comportamento emocional e o controle do sistema nervoso autônomo.

3.3.2 — Lobo Frontal (Fig. 8.6)

A face inferior do lobo frontal apresenta um único sulco importante, o *sulco olfatório,* profundo e de direção ântero-posterior. Medialmente ao sulco olfatório, continuando dorsalmente como giro frontal superior, situa-se o *giro reto.* O resto da face inferior do lobo frontal é ocupada por sulcos e giros muito irregulares, os *sulcos* e *giros orbitários.*

A seguir serão descritas algumas formações existentes na face inferior do lobo frontal, todas elas relacionadas com a olfação e por isso consideradas como pertencendo ao chamado *rinencéfalo* (de *rhinos* = nariz).

O *bulbo olfatório* é uma dilatação ovóide e achatada de substância cinzenta que continua posteriormente com o *tracto olfatório,* ambos alojados no sulco olfatório (Fig. 8.6). O bulbo olfatório recebe os filamentos que constituem o *nervo olfatório,* I par craniano. Estes atravessam os pequenos orifícios que existem na lâmina crivosa do osso etmóide (Fig. 29.6) e geralmente se rompem quando o encéfalo é retirado, sendo, pois, dificilmente encontrados nas peças anatômicas usuais. Posteriormente, o tracto olfatório se bifurca formando as *estrias olfatórias lateral* e *medial***, que delimitam uma área triangular, o *trígono olfatório.* Atrás do trígono olfatório e adiante do tracto óptico localiza-se

* *A área septal, termo que tende a ser adotado modernamente, compreende o giro paraterminal* (= **subcaloso)** *e a* **área subcalosa** (= para-olfatória). *Para uma discussão da confusa terminologia existente sobre esta área,veja Meyer, A. 1971 —* **Historical** aspects **of** cerebral **anatomy.** *Oxford, Londres.*

** *Existe também uma* **estria olfatória intermédia** *(Fig.8.6), que é inconstante.*

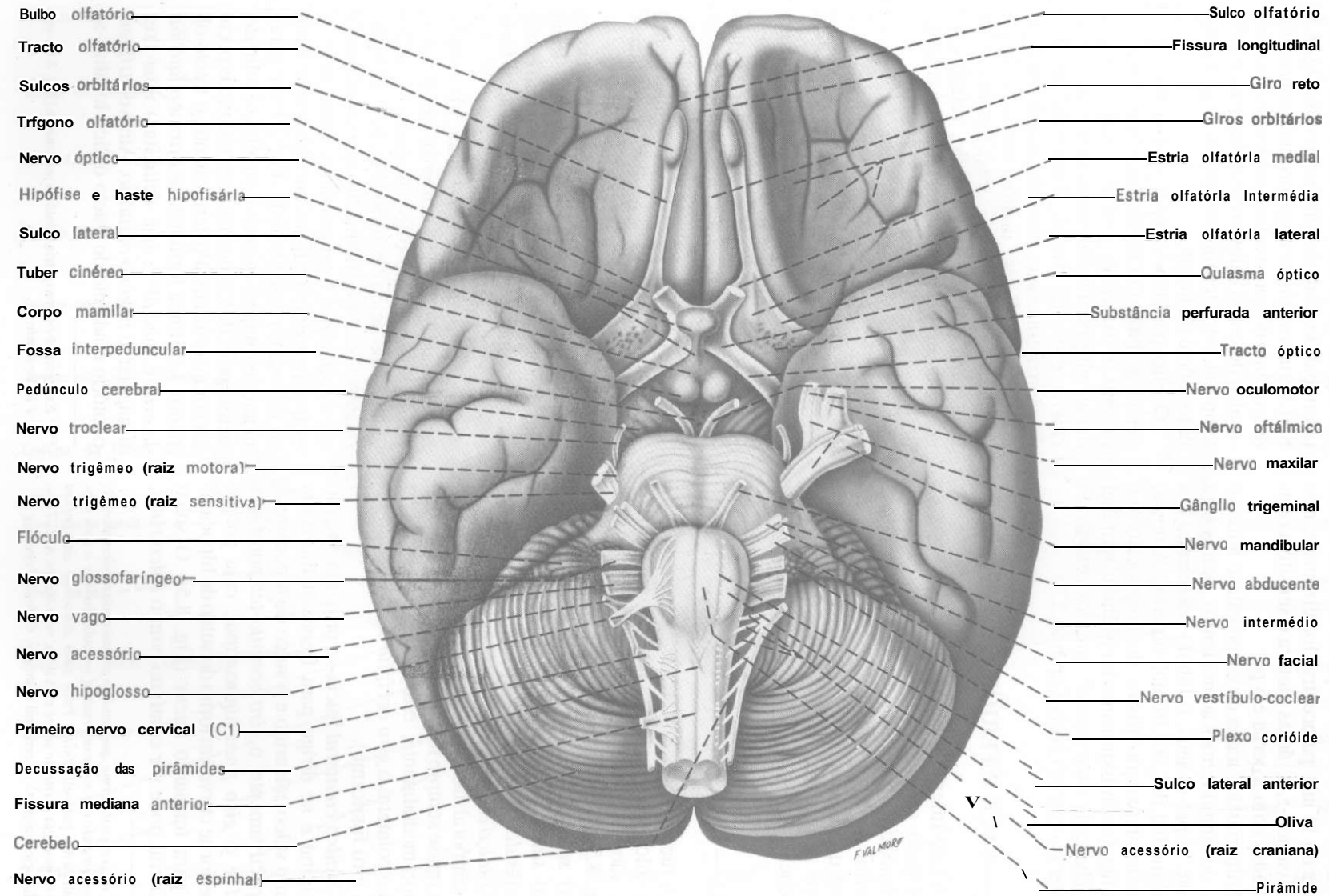



Fig. 8.6 — *Vista inferior do encéfalo.*

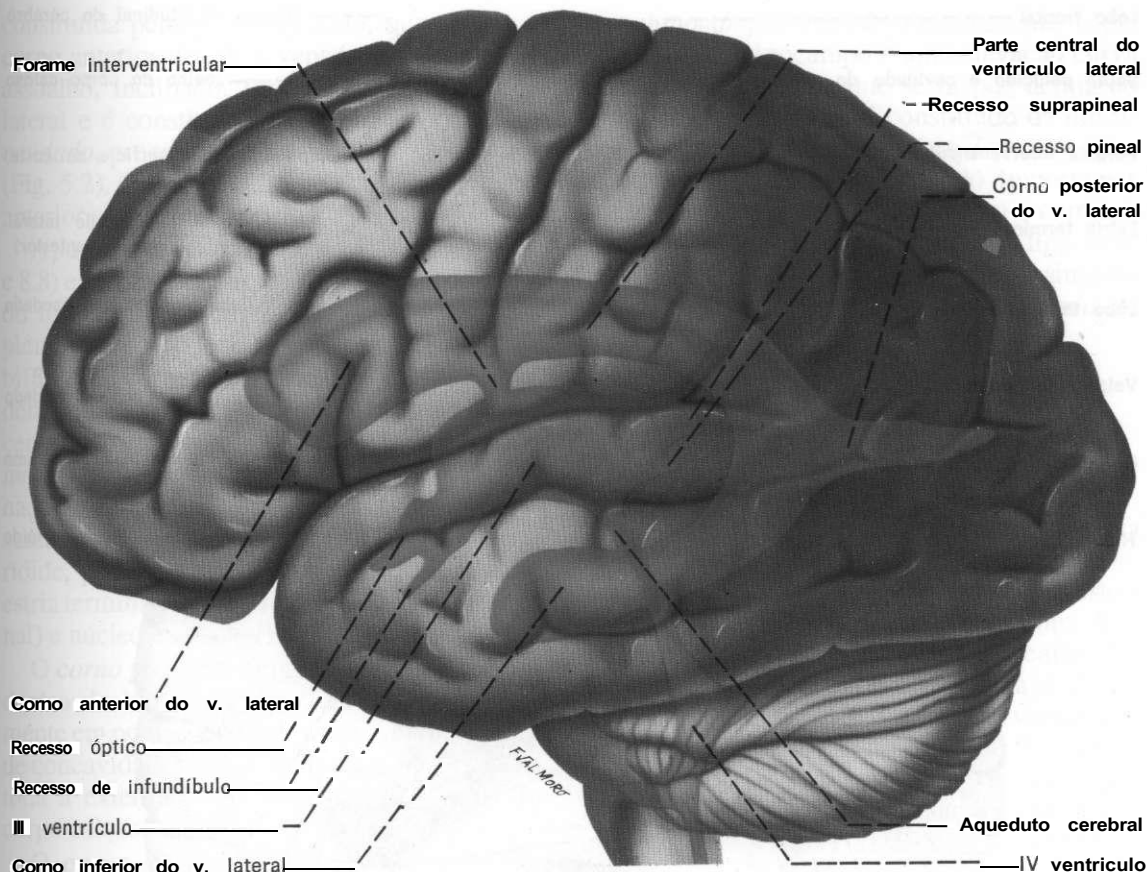



Fig. 8.7 — *Ventrículos encefálicos.*

uma área contendo uma série de pequenos orifícios para a passagem de vasos, a ***substância perfurada*** *anterior** (Fig. 8.6).

4.0 — MORFOLOGIA DOS VENTRÍCULOS LATERAIS (Fig. 8.7)

Os hemisférios cerebrais possuem cavidades revestidas de epêndima e contendo líquido cérebro-espinhal, os *ventrículos* ***laterais esquerdo*** e *direito***, que se comunicam com o III ventriculo pelo respectivo *forame* ***interventricular.*** Exceto por este forame, cada ventriculo é uma cavidade completamente fechada, cuja capacidade varia de um indivíduo para outro e apresenta sempre uma *parte* ***central*** e três cornos que correspondem aos três pólos do hemisfério. As partes que se projetam nos lobos frontal, occipital e temporal são, respectivamente, os cornos *anterior,* ***posterior*** e ***inferior*** (Fig. 8.7). Com exceção do corno inferior, todas as partes do ventriculo lateral têm o teto formado pelo corpo caloso, cuja remoção (Fig. 8.8) expõe amplamente a cavidade ventricular.

4.1 — MORFOLOGIA DAS PAREDES VENTRICULARES

Os elementos que fazem proeminência nas paredes dos ventrículos laterais serão descritos a seguir, considerando, respectivamente, o corno anterior, a parte central e os cornos posterior e inferior.

O ***corno anterior*** (Fig. 5.2, 8.8) é a parte do ventriculo lateral que se situa adiante do forame interventricular. Sua parede medial é vertical e

---

* *Na parte anterior da substância perfurada anterior, descreve-se uma pequena eminência o* tubérculo olfatório, *que é evidente em cerca de 70% dos hemisférios (Erhart, E. A. — 1950 —* Journal of Comparative Neurology, *93:297-312).*

** *Convencionalmente, o ventrículo lateral esquerdo é o primeiro ventrículo e o direito, o segundo. Entretanto, estes termos não são usados.*

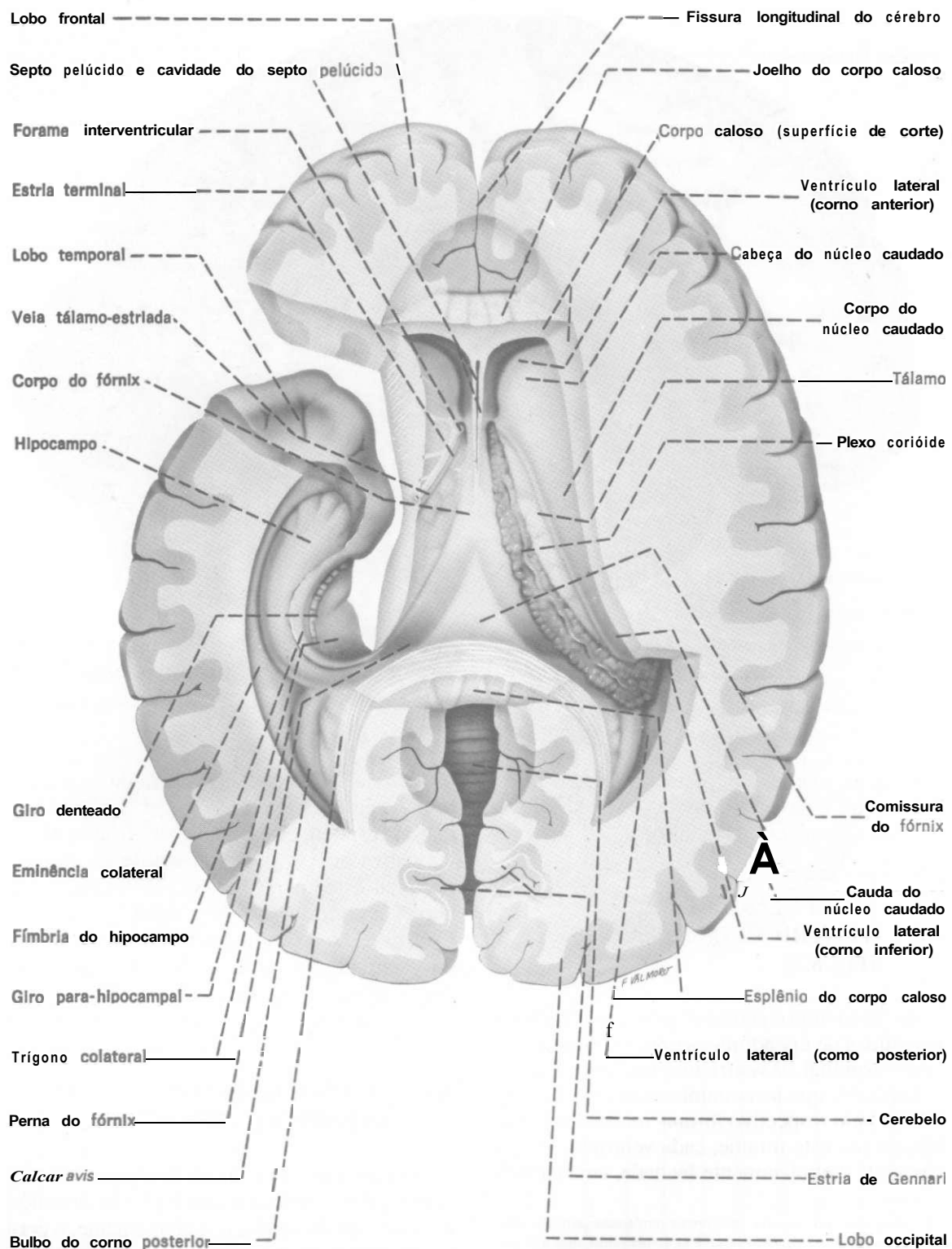



Fig.8.8 — *Vista superior do cérebro após remoção parcial do corpo caloso e de parte do lobo temporal esquerdo de modo a expor os ventrículos laterais.*

constituída pelo ***septo pelúcido,*** que separa o corno anterior dos dois ventrículos laterais. O assoalho, inclinado, forma também a parede lateral e é constituído pela ***cabeça do núcleo caudado,*** proeminente na cavidade ventricular (Fig. 5.2). O tecto e o limite anterior do corno anterior são formados pelo corpo caloso.

A parte central do ventriculo lateral (Figs. 5.2 e 8.8) estende-se dentro do lobo parietal do nível do forame interventricular para trás até o esplênio do corpo caloso, onde a cavidade se bifurca em cornos inferior e posterior na região denominada ***trígono colateral.*** O tecto da parte central é formado pelo corpo caloso e a parede medial, pelo septo pelúcido. O assoalho, inclinado, une-se ao tecto no ângulo lateral e apresenta as seguintes formações: fórnix, plexo corióide, parte lateral da face dorsal do tálamo, estria terminal, veia tálamo-estriada (= v. terminal) e núcleo caudado (Fig. 8.8).

O ***corno posterior*** (Fig. 8.8) estende-se para dentro do lobo occipital e termina posteriormente em ponta, depois de descrever uma curva de concavidade medial. Suas paredes, em quase toda a extensão, são formadas por fibras do corpo caloso.*

O ***corno inferior*** (Figs. 8.7, 8.8) curva-se inferiormente e a seguir anteriormente em direção ao pólo temporal a partir do trígono colateral. O tecto do corno inferior é formado pela substância branca do hemisfério e apresenta ao longo de sua margem medial a ***cauda do núcleo caudado*** e a ***estria terminal,*** estruturas que acompanham a curva descrita pelo corno inferior do ventriculo. Na extremidade da cauda do núcleo caudado, observa-se uma discreta eminência arredondada, às vezes pouco nítida, formada pelo ***corpo amigdalóide,*** que faz saliência na parte terminal do tecto do corno inferior do ventriculo. Convém acentuar, entretanto, que a maior parte do corpo amigdalóide não tem relação com a superfície ventricular e ele só pode ser visto em toda a sua extensão em secções do lobo temporal (Figs. 31.13, 31.14).

O assoalho do corno inferior do ventriculo apresenta duas eminências alongadas, a ***eminência colateral,*** formada pelo sulco colateral, e o ***hipocampo,*** situado medialmente a ela (Fig. 8.8). O hipocampo é uma elevação curva e muito pronunciada que se dispõe acima do giro para-hipocampal. É constituído de um tipo de córtex muito antigo (arquicórtex) e faz parte do sistema límbico, tendo importantes funções psíquicas relacionadas com o comportamento e a memória. O hipocampo liga-se às pernas do fórnix por um feixe de fibras situadas ao longo de sua borda medial, a ***fimbria do hipocampo***** (Fig. 8.6 e 8.8).

4.2 — PLEXOS CORIÓIDES DOS VENTRÍCULOS LATERAIS

A pia-máter, que ocupa a fissura transversa do cérebro, penetra entre o fórnix e o tálamo, empurra de cada lado o epêndima que reveste a cavidade ventricular, para constituir com ele o plexo corióide da parte central dos ventrículos laterais (Fig. 7.1). Este plexo continua com o do III ventriculo através do forame interventricular e, acompanhando o trajeto curvo do fórnix e da fimbria, atinge o corno inferior do ventriculo lateral (Fig. 9.3). Os cornos anterior e posterior não possuem plexos corióides.

5.0 — ORGANIZAÇÃO INTERNA DOS HEMISFÉRIOS CEREBRAIS (Figs. 32.11 a 32.20)

Até aqui foram estudadas apenas as formações anatômicas da superfície dos hemisférios cerebrais ou das cavidades ventriculares. O estudo detalhado da estrutura, conexões e funções das diversas partes do telencéfalo será feito nos Capítulos 25, 26 e 27. Convém, entretanto, sejam estudados já agora alguns aspectos da organização interna dos hemisférios cerebrais visíveis mesmo macroscopicamente em secções horizontais e frontais de cérebro (Figs. 32.11 a 32.20). A observação destas secções nos mostra

* *Na parte medial descrevem-se duas elevações: o* bulbo do corno posterior, *formado pela porção occipital da radiação do corpo caloso, e o* calcar avis, *situado abaixo do bulbo e formado por uma prega da parede determinada pelo sulco calcarino (Fig. 8.8).*

** *A superfície ventricular do hipocampo é recoberta de substância branca, o* alveus, *que continua com a* fimbria. *Ao longo da margem da fimbria há uma fita estreita e denteada de substância cinzenta, o* giro denteado, *que continua com o* giro fasciolar *(Fig. 8.5). Este é parte do* indusium grisium, *fina lâmina de substância cinzenta que reveste a face dorsal do corpo caloso. O hipocampo se liga lateralmente ao giro para-hipocampal através de uma porção de córtex denominada* subiculum.

que a organização interna dos hemisférios cerebrais em seus aspectos mais gerais se assemelha à do cerebelo, sendo pois características do sistema nervoso supra-segmentar. Assim, cada hemisfério possui uma camada superficial de substância cinzenta, o *córtex cerebral,* que reveste um centro de substância branca, o *centro branco medular do cérebro,* ou centro semioval, no interior do qual existem massas de substância cinzenta, os *núcleos da base* do cérebro.

O córtex cerebral, de estrutura muito mais complexa que o cerebelar, será estudado no Capítulo 27. A seguir serão feitas algumas considerações sobre os núcleos da base e o centro branco medular do cérebro.

5.1 — NÚCLEOS DA BASE

Os núcleos da base, também chamados impropriamente de gânglios da base, são: o *núcleo caudado,* o *núcleo lentiforme,* o *claustrum,* o *corpo amigdalóide,* o *núcleo accumbens* e o *núcleo basal de Meynert.*

5.1.1 — Núcleo Caudado (Figs. 26.3, 26.4)

É uma massa alongada e bastante volumosa de substância cinzenta, relacionada em toda a sua extensão com os ventrículos laterais. Sua extremidade anterior, muito dilatada, constitui a *cabeça do núcleo caudado,* que proemina do assoalho do corno anterior do ventrículo (Fig. 8.8). Ela continua gradualmente com o *corpo do núcleo caudado,* situado no assoalho da parte central do ventrículo lateral (Figs. 5.2, 8.8). Este afina-se pouco a pouco para formar a *cauda do núcleo caudado,* que é longa, delgada e fortemente arqueada, estendendo-se até a extremidade anterior do corno inferior do ventrículo lateral. Em razão de sua forma fortemente arqueada, o núcleo caudado aparece seccionado duas vezes em determinados cortes horizontais ou frontais do cérebro (Fig. 32.19). A cabeça do núcleo caudado funde-se com a parte anterior do núcleo lentiforme (Figs. 26.3, 32.12).

5.12 — Núcleo Lentiforme (Figs. 26.3, 26.4)

Tem a forma e o tamanho aproximado de uma castanha-do-pará. Não aparece na superfície ventricular, situando-se profundamente no interior do hemisfério. Medialmente relaciona-se com a cápsula interna que o separa do núcleo caudado e do tálamo; lateralmente relaciona-se com o córtex da insula, do qual é separado por substância branca e pelo claustrum (Fig. 32.14).

O núcleo lentiforme é dividido em *putâmen* e *globo pálido* por uma fina lâmina de substância branca, a *lâmina medular lateral.* O putâmen situa-se lateralmente e é maior que o globo pálido, que se dispõe medialmente. Nas secções não coradas de cérebro, o globo pálido tem uma coloração mais clara que o putâmen (donde o nome) em virtude da presença de fibras mielínicas que o atravessam. O globo pálido é subdividido por outra lâmina de substância branca, a *lâmina medular medial,* em partes externa e interna.

5.1.3 — Claustrum (Figs. 32.14, 32.17, 32.18)

É uma delgada calota de substância cinzenta situada entre o córtex da insula e o núcleo lentiforme. Separa-se daquele por uma fina lâmina branca, a *cápsula extrema.* Entre o claustrum e o núcleo lentiforme existe uma outra lâmina branca, a *cápsula externa.*

Neste ponto o aluno deve estar em condições de identificar todas as estruturas que se dispõem no interior de cada hemisfério cerebral vistas em um corte horizontal, passando pelo corpo estriado (Figs. 32.17, 32.18). São elas, da face lateral até a superfície ventricular: córtex da insula; cápsula extrema; claustrum; cápsula externa; putâmen; lâmina medular lateral; parte externa do globo pálido; lâmina medular medial; parte interna do globo pálido; cápsula interna; tálamo; III ventrículo.

5.1.4 — Corpo Amigdalóide (Figs. 26.3, 32.13, 32.14)

É uma massa esferóide de substância cinzenta de cerca de 2cm de diâmetro situada no pólo temporal do hemisfério cerebral, em relação com a cauda do núcleo caudado. Faz uma discreta saliência no tecto da parte terminal do corno inferior do ventrículo lateral (veja item 4.1). O corpo amigdalóide faz parte do sistema límbico e é um importante centro regulador do comportamento sexual e da agressividade.

5.1.5 — Núcleo Accumbens

Massa de substância cinzenta situada na zona dc união entre o putâmen e a cabeça do núcleo caudado (Fig. 32.12) em área que alguns autores chamam de corpo estriado ventral.

5.1.6 — Núcleo Basal de Meynert (Fig. 263)

Macroscopicamente é de visualização difícil. Situa-se na base do cérebro, entre a substância perfurada anterior (Fig. 8.6) e o globo pálido, região conhecida como *substância inominata* (Fig. 26.3). Contém neurônios grandes, ricos em acetileolina.

5.2 — CENTRO BRANCO MEDULAR DO CÉREBRO

É formado por fibras mielínicas, cujo estudo detalhado será feito no Capítulo 26. Distinguem-se dois grupos dc fibras: de *projeção* e de *associação*. As primeiras ligam o córtex cerebral a centros subcorticais; as segundas unem áreas corticais situadas em pontos diferentes do cérebro. Entre as fibras de associação, temos aquelas que atravessam o plano mediano para unir áreas simétricas dos dois hemisférios. Constituem as três comissuras telencefálicas: *corpo caloso, comissura do fórnix* e *comissura anterior,* todas já descritas anteriormente.

As libras de projeção se dispõem em dois feixes: o *fórnix* e a *cápsula interna.* O fórnix une o córtex do hipocampo ao corpo mamilar (veja item 3.2.1) e contribui pouco para a formação do centro branco medular.

A cápsula interna contém a grande maioria das libras que saem ou entram no córtex cerebral. Estas fibras formam um feixe compacto que separa o núcleo lentiforme, situado lateralmente, do núcleo caudado e tálamo, situados medialmente (Figs. 26.3, 26.4, 32.14). Acima do nível destes núcleos as fibras da cápsula interna passam a constituir a *coroa radiada* (Fig. 30.3). Distinguem-se na cápsula interna uma *perna anterior,* situada entre a cabeça do núcleo caudado e o núcleo lentiforme, e uma *perna posterior,* bem maior, situada entre o núcleo lentiforme e o tálamo. Estas duas porções da cápsula interna encontram-se formando um ângulo que constitui o *joelho da cápsula in terna* (Figs. 26.4, 32.18, 32.19).

6.0 — NOÇÕES DE ANATOMIA COMPARADA E ANTROPOLOGIA DO CÉREBRO

6.1 — ASPECTOS GERAIS

No sistema nervoso central de todos os vertebrados podemos encontrar as mesmas partes fundamentais já estudadas até agora. Contudo, a importância destas partes mudaram durante a filogênese. Em um vertebrado inferior, como um ciclóstomo ou um peixe, a parte mais importante do sistema nervoso central é o tecto do mesencéfalo, que integra quase todas as vias da sensibilidade e da motricidade. O tecto é, pois, muito desenvolvido nestes animais, enquanto o cérebro tem uma função quase que exclusivamente olfatória. À medida que se sobe na escala zoológica, há uma diminuição do tamanho e importância do tecto paralelamente ao aumento do tamanho e da importância do cérebro. Deste modo, no homem o tecto é um centro relativamente sem importância, enquanto o cérebro, além de suas funções psíquicas, coordena toda a sensibilidade e motricidade.

No cérebro do peixe e do ciclóstomo há apenas um tipo muito simples e primitivo de córtex, denominado *arquicórtex.* Nos anfíbios aparece um córtex mais avançado, o *paleocórtex,* enquanto nos répteis surge o *neocórtex,* que predomina nos mamíferos. No homem, o arquicórtex existe no hipocampo, o paleocórtex no giro para-hipocampal, enquanto o neocórtex reveste todo o resto dos hemisférios cerebrais.

6.2 — SULCOS E GIROS

O primeiro sulco que apareceu na filogêneses foi o *sulco rinal,* que separa o paleocórtex do neocórtex e que existe, pois, desde o aparecimento dos répteis. Quanto à presença de sulcos e giros, os animais podem ser *lissencéfalos* ou *girencéfalos,* conforme tenham o cérebro liso ou com giros.

A distribuição dos sulcos e giros na maioria dos animais é muito diferente daquela do homem. Entretanto, nos primatas já se observa o sulco central e o lateral, sendo que nos antropóides (orangotango, chimpanzé e gorila) a semelhança com os sulcos do cérebro humano é

muito grande. Contudo, existem diferenças, especialmente no lobo frontal. Não existe nenhum sulco ou giro que seja característico de uma determinada raça humana, sendo impossível a identificação da raça pelo estudo de um único cérebro. Entretanto, a freqüência de certas disposições especiais dos sulcos e giros pode variar em diferentes grupos raciais.*

6.3 — CONSIDERAÇÕES SOBRE O PESO DO ENCÉFALO

O peso do encéfalo de um animal depende de seu peso corporal e da complexidade de seu encéfalo, expressa pelo chamado *coeficiente de encefalização* (K). Por outro lado, a complexidade cerebral geralmente depende da posição filogenética do animal. Em animais de mesma posição filogenética, como, por exemplo, o gato e a onça, terá maior encéfalo o de maior peso corporal. Neste exemplo, o coeficiente de encefalização K foi o mesmo, variando o peso corporal. Poderíamos considerar ainda o exemplo de dois animais de mesmo peso corporal como um homem e um gorila. Neste caso terá encéfalo mais pesado o de maior K, ou seja, o homem. De um modo geral, o coeficiente de encefalização aumenta à medida que se sobe na escala zoológica, sendo quatro vezes maior no homem que no chimpanzé. No *Pithecanthropus erectus*, estudado por Dubois, ele é duas vezes menor que o do homem atual. Contudo, não existe diferença entre os diversos grupos étnicos atuais, no que se refere ao coeficiente de encefalização. O peso do encéfalo de diferentes grupos étnicos não se correlaciona com o estado cultural destes grupos. Entretanto, como o peso corporal de alguns grupos pode ser muito menor que o de outros (os pigmeus, por exemplo), o peso do encéfalo é também menor. Pelo mesmo motivo, o peso do encéfalo da mulher é, em média, um pouco menor que o do homem. No brasileiro adulto normal, o peso do encéfalo do homem está em torno de 1.300 gramas e o da mulher, em torno de 1.200 gramas, segundo dados de Raso e Tafuri*. Admite-se que no homem adulto de estatura mediana, o menor encéfalo compatível com uma inteligência normal é de cerca de 900 gramas. Acima deste limite as tentativas de se correlacionar o peso do encéfalo com o grau de inteligência esbarraram em numerosas exceções**.

---

* *É clássico o exemplo do* sulco lunatus, *situado no lobo occipital, do qual foram descritas cinco formas, cuja freqüência é diferente em cérebros de brancos e negros. Para maiores detalhes, veja Connolly, C. J. — 1950* — External morphology of primate brain. *Springfield, Charles C. Thomas publishers.*

* *Raso, P. e Tafuri, W.L. — 1960* — Anais da Faculdade de Medicina da Universidade de Minas Gerais, *20:231-241*.

** *Para uma revisão crítica minuciosa e ao mesmo tempo agradável dos conceitos relacionando o peso do encéfalo com a inteligência, veja* Could, S.J. — *1981* — The mismeasure of man, *W. W. Norton & Co. New York, 352pp.*

Capítulo 9

Meninges — Liquor

1.0 — MENINGES

O sistema nervoso central é envolvido por membranas conjuntivas denominadas meninges e que são classicamente três: *dura-máter*, ***aracnóide*** e ***pia-máter.*** A aracnóide e a pia-máter, que no embrião constituem um só folheto, são, às vezes, consideradas como uma formação única, a ***leptomeninge,*** ou meninge fina, distinta da ***paquimeninge,*** ou meninge espessa, constituída pela dura-máter. O conhecimento da estrutura e da disposição das meninges é muito importante não só para a compreensão de seu importante papel dc proteção dos centros nervosos, mas também porque elas são freqüentemente acometidas por processos patológicos, como infecções (meningites) ou tumores (meningiomas). Além do mais, o acesso cirúrgico ao sistema nervoso central envolve, necessariamente, contato com as meninges, o que torna o seu conhecimento muito importante para o neurocirurgião. No Capítulo 4 (item 5.0) foram feitas algumas considerações sobre as meninges e estudou-se sua disposição na medula espinhal. Estas membranas serão a seguir estudadas com mais profundidade, descrevendo-se sua disposição em torno do encéfalo.

1.1 — DURA-MÁTER

A meninge mais superficial é a dura-máter, espessa e resistente, formada por tecido conjuntivo muito rico em fibras colágenas, contendo vasos e nervos. A dura-máter do encéfalo difere da dura-máter espinhal por ser formada por dois folhetos, ***externo*** e *interno*, dos quais apenas o interno continua com a dura-máter espinhal (Fig. 9.5). O folheto externo adere intimamente aos ossos do crânio e comporta-se como periósteo destes ossos. Ao contrário do periósteo de outras áreas, o folheto externo da dura-máter não tem capacidade osteogênica, o que dificulta a consolidação de fraturas no crânio e torna impossível a regeneração de perdas ósseas na abóbada craniana. Esta peculiaridade, entretanto, é vantajosa, pois a formação de um calo ósseo na superfície interna dos ossos do crânio pode constituir grave fator de irritação do tecido nervoso. Em virtude da aderência da dura-máter aos ossos do crânio, não existe no encéfalo um espaço epidural como na medula. A dura-máter, é em particular seu folheto externo, é muito vascularizada. No encéfalo, a principal artéria que irriga a dura-máter é a ***artéria*** *meníngea* ***média*** (Fig. 9.2), ramo da artéria maxilar.

A dura-máter, ao contrário das outras meninges, é ricamente inervada. Como o encéfalo não possui terminações nervosas sensitivas, toda ou quase toda a sensibilidade intracraniana se localiza na dura-máter, responsável, assim, pela maioria das dores de cabeça.

1.1.1 — Pregas da Dura-Máter do Encéfalo (Figs. 9.1, 9.3, 9.5)

Em algumas áreas, o folheto interno da dura-máter destaca-se do externo para formar pregas que dividem a cavidade craniana cm comparti-

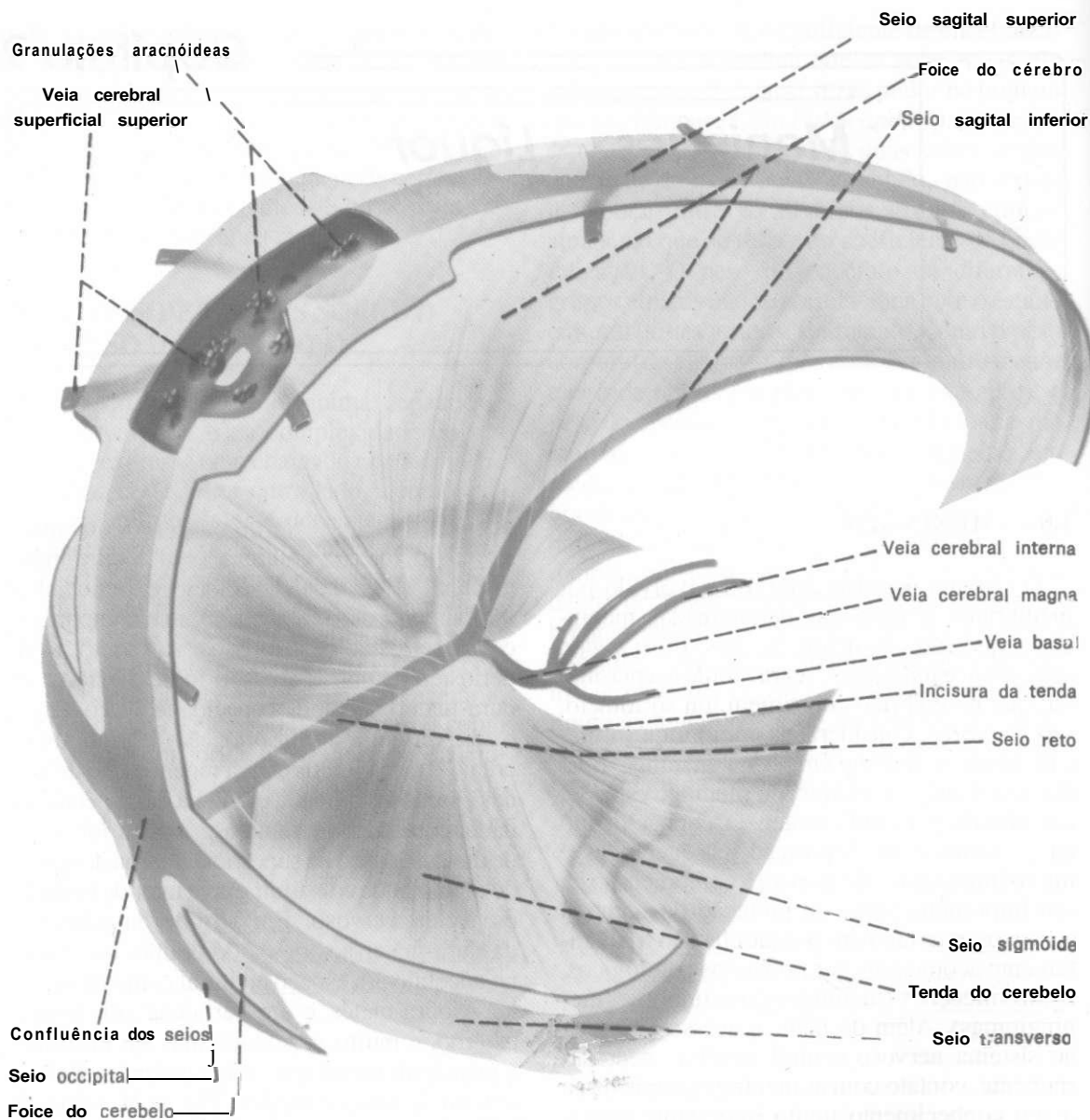



Fig. 9.1 — *Pregas e seios da dura-máter do encéfalo.*

mentos que se comunicam amplamente. As principais pregas são as seguintes:

a) *foice do cérebro* — é um septo vertical mediano em forma de foice, que ocupa a fissura longitudinal do cérebro separando os dois hemisférios cerebrais (Fig. 9.1);

b) *tenda do cerebelo* — projeta-se para diante como um septo transversal entre os lobos occipitais e o cerebelo (Fig. 9.1). A tenda do cerebelo separa a fossa posterior da fossa média do crânio, dividindo a cavidade craniana em um *compartimento superior*, ou *supratentorial*, e outro *inferior*, ou *infratentorial*. Esta divisão é de grande importância clínica, pois a patologia das afecções (especialmente os tumores) supratentoriais é muito diferente das infratentoriais. A borda anterior livre da tenda do cerebelo, denominada *incisura da tenda*, ajusta-se ao mesencéfalo. Esta relação tem importância clínica, pois a incisura da tenda pode, em certas circunstâncias, lesar o mesencéfalo e os nervos troclear e oculomotor, que nele se originam.

c) *foice do cerebelo* — pequeno septo vertical mediano, situado abaixo da tenda do

cerebelo entre os dois hemisférios cerebelares (Fig. 9.1).

d) *diafragma da sela* (Fig. 9.2) — pequena lâmina horizontal que fecha superiormente a sela túrcica, deixando apenas um pequeno orifício para a passagem da haste hipofisária. Por este motivo, quando se retira o encéfalo de um cadáver, esta haste geralmente se rompe, ficando a hipófise dentro da sela turcica. O diafragma da sela isola e protege a hipófise, mas dificulta consideravelmente a cirurgia desta glândula.

1.1.2 — Cavidades da Dura-Máter

Em determinadas áreas os dois folhetos da dura-máter do encéfalo separam-se, delimitando cavidades. Uma delas é o *cavo trigeminal* (de Meckel), ou loja do gânglio trigeminal, que contém o gânglio trigeminal (Fig. 9.2). Outras cavidades são revestidas de endotélio e contêm sangue, constituindo os *seios da dura-máter,* que se dispõem principalmente ao longo da inserção das pregas da dura-máter. Os seios da dura-máter serão estudados a seguir.

1.1.3 — Seios da Dura-Máter (Figs. 9.1, 9.2, 9.3)

São canais venosos revestidos de endotélio situados entre os dois folhetos que compõem a dura-máter encefálica. A maioria dos seios tem secção triangular e suas paredes, embora finas, são mais rígidas que a das veias e geralmente não se colabam quando seccionadas. Alguns seios apresentam expansões laterais irregulares, as *lacunas sangüíneas,* mais freqüentes de cada lado do seio sagital superior (Fig. 9.1). O sangue proveniente das veias do encéfalo e do bulbo ocular é drenado para os seios da dura-máter e destes para as veias jugulares internas. Os seios comunicam-se com veias da superfície externa do crânio através de *veias emissárias,* que percorrem forames ou canalículos que lhes são próprios, nos ossos do crânio. Os seios dispõem-se principalmente ao longo da inserção das pregas da dura-máter, distinguindo-se seios em relação com a abóbada e com a base do crânio. Os seios da abóbada são os seguintes:

a) *seio sagital superior* — ímpar e mediano, percorre a margem de inserção da foice do cérebro (Fig. 9.3). Termina próximo à protuberância occipital interna na chamada *confluência dos seios,* formada pela confluência dos seios sagital superior, reto e occipital e pelo início dos seios transversos esquerdo e direito (Fig. 9.1)*;

b) *seio sagital inferior* — situa-se na margem livre da foice do cérebro, terminando no seio reto (Fig. 9.1);

c) *seio reto* — localiza-se ao longo da linha de união entre a foice do cérebro e a tenda do cerebelo. Recebe em sua extremidade anterior o seio sagital inferior e a veia cerebral magna (Figs. 9.1 e 9.2), terminando na confluência dos seios;

d) *seio transverso* — é par e dispõe-se de cada lado ao longo da inserção da tenda do cerebelo no osso occipital, desde a confluência dos seios até a parte petrosa do osso temporal, onde passa a ser denominado seio sigmóide (Figs. 9.1 e 9.2);

e) *seio sigmóide* — em forma de S, é uma continuação do seio transverso até o forame jugular, onde continua diretamente com a veia jugular interna (Figs. 9.1 e 9.2). O seio sigmóide drena a quase totalidade do sangue venoso da cavidade craniana;

f) *seio occipital* — muito pequeno e irregular, dispõe-se ao longo da margem de inserção da foice do cerebelo (Figs. 9.1 e 9.2).

Os seios venosos da base são os seguintes:

a) *seio cavernoso* (Fig. 9.2) — um dos mais importantes seios da dura-máter, o seio cavernoso é uma cavidade bastante grande e irregular, situada de cada lado do corpo do esfenóide e da sela túrcica. Recebe o sangue proveniente das veias oftálmica superior (Fig. 9.2) e central da retina, além de algumas veias do cérebro. Drena através dos seios petroso superior e petroso inferior, além de comunicar-se com o seio cavernoso do lado oposto através do *seio intercavernoso.* O seio cavernoso é atravessado pela artéria carótida

* *A confluência dos seios é também conhecida como* torcular de Heróphilo. *Nem sempre os seios encontram-se em um só ponto, descrevendo-se pelo menos quatro tipos de confluência.*

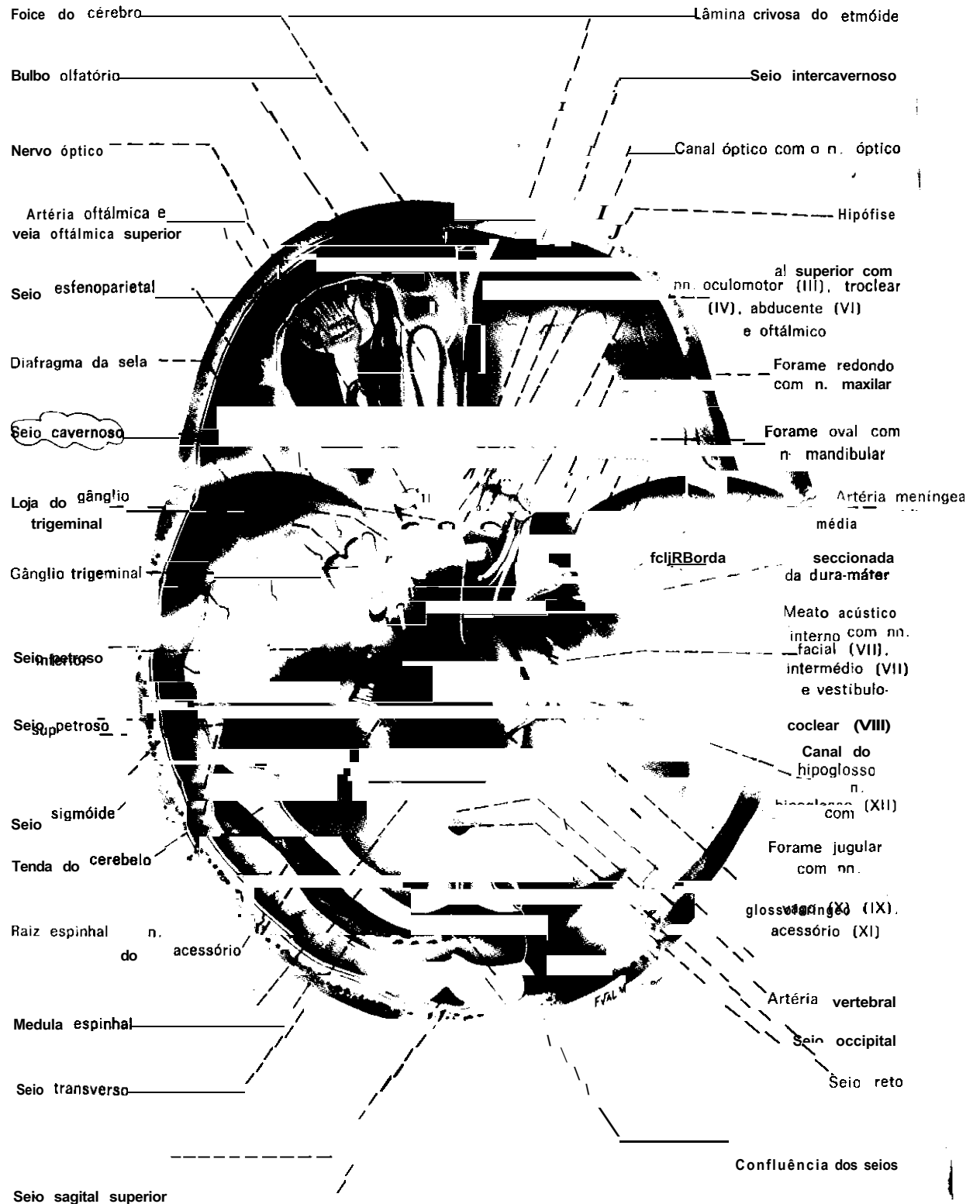



Fig. 9.2 — Base do crânio. A dura-máter foi removida do lado direito e mantida do lado esquerdo.

interna, pelo nervo abducente e, já próximo à sua parede lateral, pelos nervos troclear, oculomotor e pelo ramo oftálmico do nervo trigêmeo (Fig. 9.2). Estes elementos são separados do sangue do seio por um revestimento endotelial, e sua re-

lação com o seio cavernoso é de grande importância clínica. Assim, aneurismas da carótida interna ao nível do seio cavernoso comprimem o nervo abducente e, em certos casos, os demais nervos que atravessam o seio cavernoso, determinando distúrbios muito típicos dos movimentos do bulbo ocular. Pode haver perfuração da carótida interna dentro do seio cavernoso, formando-se, assim, um curto-circuito artério-venoso (fístula carótido-cavernosa) que determina dilatação e aumento da pressão no seio cavernoso. Isto faz com que se inverta a circulação nas veias que nele desembocam, como as veias oftálmicas, resultando grande protrusão do bulbo ocular, que pulsa simultaneamente com a carótida (exoftálmico pulsátil). Infecções superficiais da face (como espinhas do nariz) podem se propagar ao seio cavernoso, tornando-se, pois, intracranianas, em virtude das comunicações que existem entre as veias oftálmicas, tributárias do seio cavernoso, e a veia angular, que drena a região nasal;

b) *seios intercavernosos* — unem os dois seios cavernosos envolvendo a hipófise (Fig. 9.2);
c) *seio esfenoparietal* — percorre a face interior da pequena asa do esfenóide e desemboca no seio cavernoso (Fig. 9.2);
d) ***seio petroso superior*** — dispõe-se de cada lado, ao longo da inserção da tenda do cerebelo, na porção petrosa do osso temporal. Drena o sangue do seio cavernoso para o seio sigmóide, terminando próximo à continuação deste com a veia jugular interna (Fig. 9.2).
e) ***seio petroso inferior*** — percorre o sulco petroso inferior entre o seio cavernoso c o forame jugular, onde termina lançando-se na veia jugular interna (Fig. 9.2);
f) ***plexo basilar*** — ímpar, ocupa a porção basilar do occipital. Comunica-se com os seios petroso inferior e cavernoso, liga-se ao plexo do forame occipital e através deste ao plexo venoso vertebral interno (Fig. 9.2).

1.2 — ARACNÓIDE

Membrana muito delicada, justaposta à dura-máter, da qual se separa por um espaço virtual, o espaço subdural, contendo pequena quantidade de líquido necessário à lubrificação das superfícies de contato das duas membranas. A aracnóide separa-se da pia-máter pelo ***espaço subaracnóideo*** (Fig. 9.3), que contém o líquido *cérebro-espinhal* ou *líquor*, havendo ampla comunicação entre o espaço subaracnóideo do encéfalo e da medula (Fig. 9.5). Considera-se também como pertencendo à aracnóide as delicadas trabéculas que atravessam o espaço para se ligar à pia-máter, e que são denominadas ***trabéculas aracnóides*** (Fig. 9.3). Estas trabéculas lembram, em aspecto, uma teia dc aranha, donde o nome de aracnóide, semelhante à aranha.

1.2.1 — Cisternas Subaracnóideas (Fig. 9.4)

A aracnóide justapõe-se à dura-máter c ambas acompanham apenas grosseiramente a superfície do encéfalo. A pia-máter, entretanto, adere-sc intimamente a esta superfície que acompanha em todos os giros, sulcos e depressões. Deste modo, a distância entre as duas membranas, ou seja, a profundidade do espaço subaracnóideo é variável, sendo muito pequena no cume dos giros e grande nas áreas onde parte do encéfalo se afasta da parede craniana. Formam-sc assim nestas áreas dilatações do espaço subaracnóideo, as ***cisternas subaracnóideas,*** que contêm grande quantidade de liquor. As cisternas mais importantes são as seguintes:

a) ***cisterna** cerebelo-medular* ou cisterna *magna,* (Figs. 9.3. 9.5) — ocupa o espaço entre a face inferior do cerebelo c a face dorsal do bulbo o tecto do IV ventriculo. Continua caudalmente com o espaço subaracnóideo da medula e liga-se ao IV ventriculo através de sua abertura mediana (Figs. 9.3, 9.5). A cisterna cerebelo-medular é de todas a maior c mais importante, sendo às vezes utilizada para obtenção de liquor através das punções suboccipitais, cm que a agulha é introduzida entre o occipital e a primeira vertebra cervical;
b) *cisterna* ***pontina*** — situada ventral mente à ponte (Fig. 9.4);
c) ***cisterna interpeduncular*** — localizada na fossa interpeduncular (Fig. 9.4);
d) ***cisterna** quiasmática* — situada adiante do quiasma óptico (Fig. 9.4);

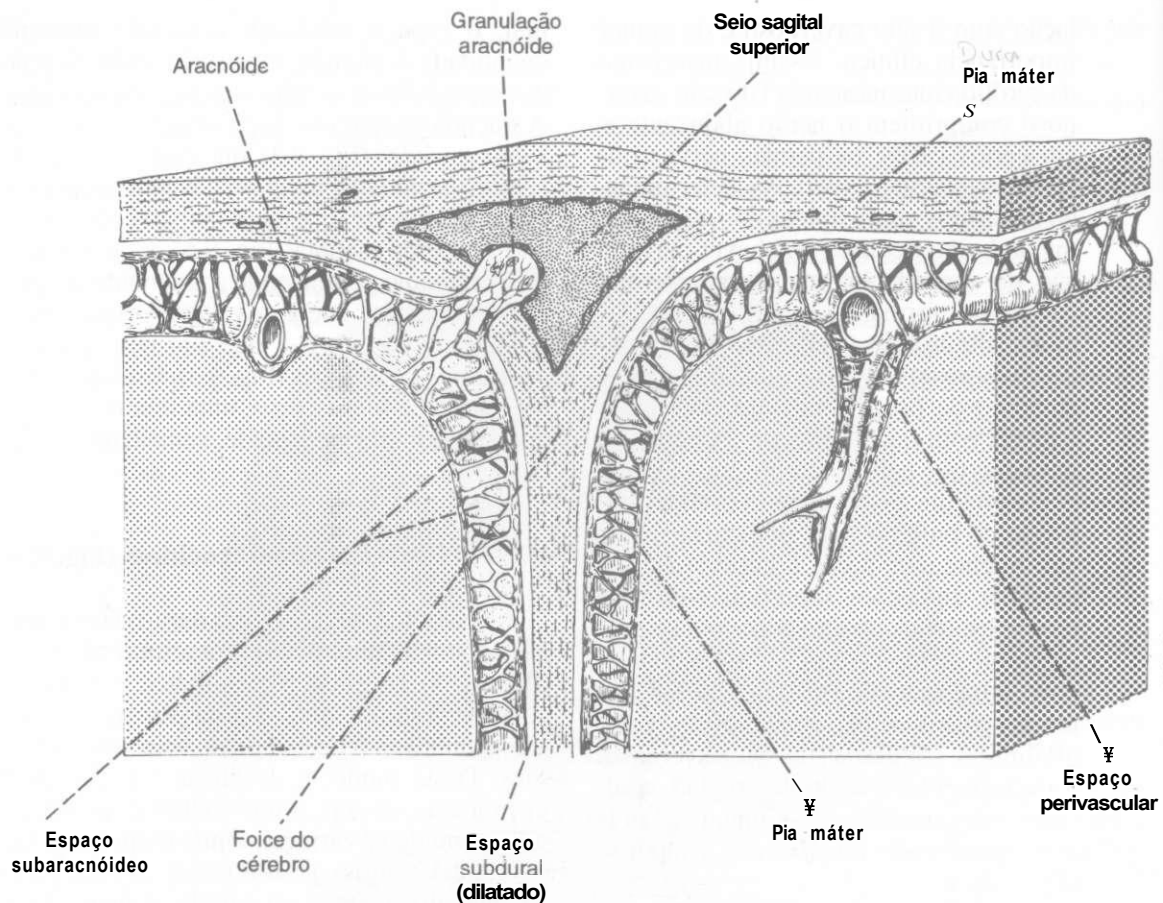



Fig. 9.3 — *Secção transversal do seio sagital superior mostrando uma granulação aracnóidea e a disposição das meninges e espaços meníngeos.*

e) *cisterna superior* — (cisterna da veia cerebral magna) — situada dorsalmente ao tecto do mesencéfalo, entre o cerebelo e o esplênio do corpo caloso (Fig. 9.4), a cisterna superior corresponde pelo menos em parte à *cisterna ambiens,* termo usado principalmente pelos clínicos;

f) *cisterna da fossa lateral do cérebro* — corresponde à depressão formada pelo sulco lateral de cada hemisfério.

1.2.2 — Granulações Aracnóideas

Em alguns pontos a aracnóide forma pequenos tufos que penetram no interior dos seios da dura-máter, constituindo as *granulações aracnóideas,* mais abundantes no seio sagital superior (Figs. 9.1 e 9.3). As granulações aracnóideas levam pequenos prolongamentos do espaço subaracnóideo, verdadeiros divertículos deste espaço, nos quais o liquor está separado do sangue apenas pelo endotélio do seio e uma delgada camada da aracnóide. São, pois, estruturas admiravelmente adaptadas à absorção do liquor, que, neste ponto, cai no sangue. No adulto e no velho, algumas granulações tornam-se muito grandes, constituindo os chamados *corpos de Pacchioni,* que freqüentemente se calcificam e podem deixar impressões na abóbada craniana.

1.3 — PIA-MÁTER

A pia-máter é a mais interna das meninges, aderindo intimamente à superfície do encéfalo (Fig. 9.3) e da medula, cujos relevos e depressões acompanha, descendo até o fundo dos sulcos cerebrais. Sua porção mais profunda recebe

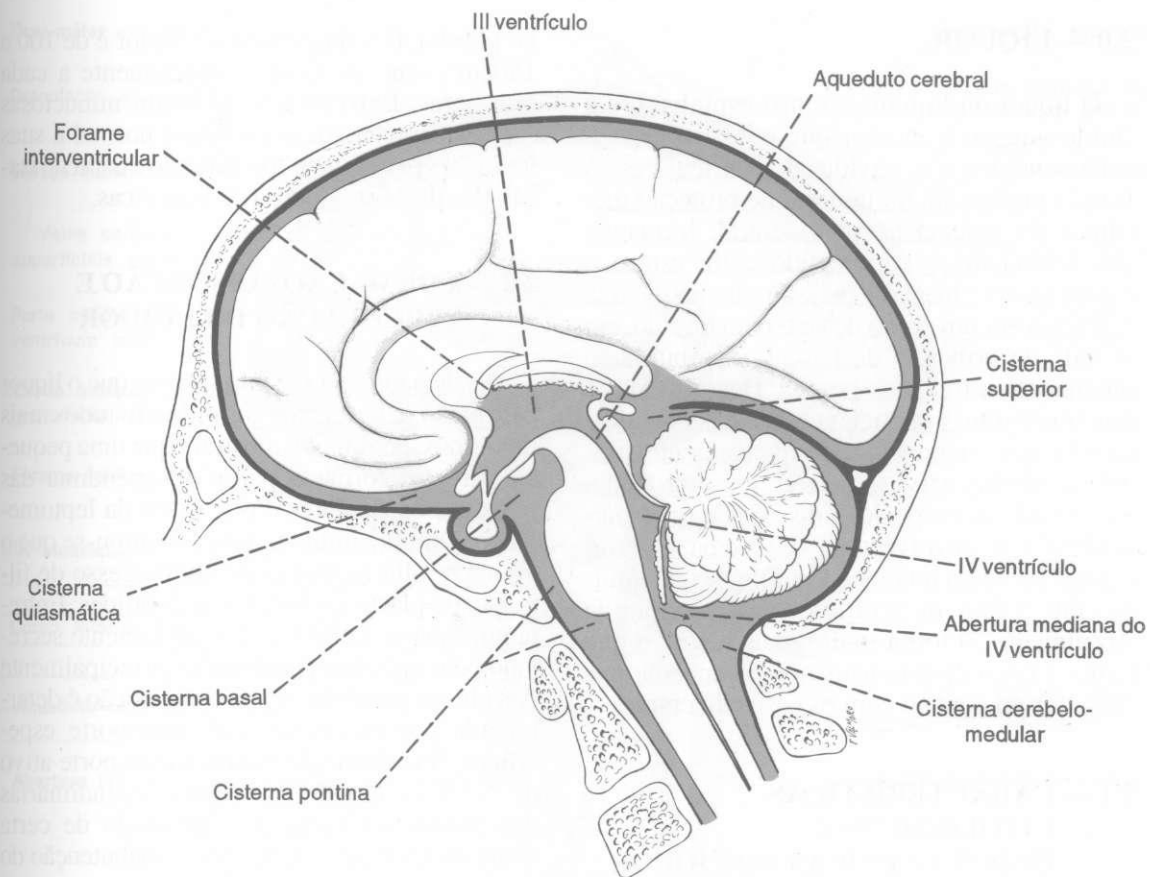



Fig. 9.4 — *Esquema mostrando a disposição das cisternas subaracnóideas. As áreas contendo líquor estão representadas em azul.*

numerosos prolongamentos dos astrócitos do tecido nervoso, constituindo assim a *membrana pio-glial**. A pia-máter dá resistência aos órgãos nervosos, pois o tecido nervoso é de consistência muito mole. De tal modo ela contém o encéfalo e a medula, que, em peças não fixadas, pequenas incisões da pia-máter resultam cm hérnias de substância nervosa. A pia-máter acompanha os vasos que penetram no tecido nervoso a partir do espaço subaracnóideo, formando a parede externa dos *espaços perivasculares* (Fig. 9.3). Nestes espaços existem prolongamentos do espaço subaracnóideo, contendo liquor, que forma um manguito protetor em torno dos vasos, muito importante para amortecer o efeito da pulsação das artérias sobre o tecido circunvizinho. Acreditava-se que os espaços perivasculares acompanhavam os vasos até os capilares, constituindo os espaços pericapilares em comunicação com os espaços perineuronais, ambos contendo liquor. Este seria pois, necessariamente, o intermediário entre todas as trocas metabólicas realizadas entre o sangue e os neurônios. Estudos realizados principalmente com microscópio eletrônico (Fig. 10.8) mostraram definitivamente que os chamados espaços pericapilares e perineuronais na realidade não existem, resultando de artefatos devidos à retração dos tecidos durante sua preparação para estudo ao microscópio óptico. Verificou-se que os espaços perivasculares acompanham os vasos mais calibrosos até uma pequena distância e terminam por fusão da pia com a adventícia do vaso. As pequenas arteríolas são envolvidas até o nível capilar por pés-vasculares dos astrócitos do tecido nervoso.

* *A membrana pio-glial, especialmente a que envolve os vasos do sistema nervoso, foi objeto de interessantes pesquisas de Contu c Krimberg (1963), que mostraram o seu espessamento com a idade (Contu, P. c Krimberg, M. — 1963* — Arquivos do Instituto de Anatomia, *5: 65-80).*

2.0 — LÍQUOR

O liquor ou líquido cérebro-espinhal é um fluido aquoso c incolor que ocupa o espaço subaracnóideo e as cavidades ventriculares. A função primordial do liquor é de proteção mecânica do sistema nervoso central, formando um verdadeiro coxim líquido entre este e o estojo ósseo. Qualquer pressão ou choque que se exerça em um ponto deste coxim líquido, em virtude do princípio de Pascal, distribuir-se-á igualmente a todos os pontos. Desse modo, o liquor constitui um eficiente mecanismo amortecedor dos choques que freqüentemente atingem o sistema nervoso central. Por outro lado, em virtude da disposição do espaço *subaracnóideo,* que envolve todo o sistema nervoso central, este fica totalmente submerso em líquido (Fig. 9.5) e, de acordo com o princípio de Arquimedes, o torna muito mais leve*, o que reduz o risco de traumatismos do encéfalo resultantes do contato com os ossos do crânio.

2.1 — CARACTERÍSTICAS CITOLÓGICAS E FÍSICO-QUÍMICAS DO LÍQUOR

Através de punções lombares, suboccipitais ou ventriculares, pode-se medir a pressão do liquor ou colher uma certa quantidade para estudo de suas características citológicas c físico-químicas. Tais estudos dão importantes informações sobre a fisiopatologia do sistema nervoso central e seus envoltórios, permitindo o diagnóstico, às vezes bastante preciso, de muitas afecções que acometem o sistema nervoso central, como hemorragias, infecções etc. O estudo do liquor é especialmente valioso para o diagnóstico dos diversos tipos de meningites. Algumas propriedades físico-químicas do liquor normal variam conforme o local de obtenção da amostra estudada, sendo ainda bastante diferente no recém-nascido. O liquor normal do adulto é límpido e incolor, apresenta de zero a quatro leucócitos por mm^3 e uma pressão de 5 a 20cm de água, obtida na região lombar com paciente em decúbito lateral. Embora o liquor tenha mais cloretos que o sangue, a quantidade de proteínas é muito menor do que a existente no plasma. O volume total do liquor é de 100 a $150cm^3$, renovando-se completamente a cada oito horas. Existem tabelas muito minuciosas com as características do liquor normal e suas variações patológicas, permitindo a caracterização das diversas síndromes liquóricas.

2.2 — FORMAÇÃO, ABSORÇÃO E CIRCULAÇÃO DO LÍQUOR

Desde o início do século sabe-se que o liquor é formado pelos plexos corióides. Estudos mais modernos, entretanto, mostram que uma pequena parte se forma a partir do epêndima das paredes ventriculares e dos vasos da leptomeninge. Durante muito tempo acreditou-se que o liquor resultaria apenas de um processo de filtração do plasma pelos plexos corióides. Entretanto, sabe-se hoje que ele é ativamente secretado pelo epitélio ependimário. principalmente dos plexos corióides, c sua composição é determinada por mecanismos de transporte específicos. Sua formação envolve transporte ativo de NA^+Cl^-, através das células ependimárias dos plexos corióides, acompanhado de certa quantidade de água necessária à manutenção do equilíbrio osmótico.

Como já foi exposto anteriormente, existem plexos corióides nos ventrículos laterais (corno inferior c parte central) e no tecto do III e IV ventrículos (Fig. 9.5). Destes, sem dúvida, os ventrículos laterais contribuem com o maior contingente liquórico, que passa ao III ventrículo pelos forames interventriculares e daí ao IV ventrículo através do aqueduto cerebral (Figs. 9.4 e 9.5). Através das aberturas medianas e laterais do IV ventrículo, o liquor formado no interior dos ventrículos ganha o espaço subaracnóideo, sendo reabsorvido no sangue principalmente através das granulações aracnóideas que se projetam no interior dos seios da dura-máter (Figs. 9.1 e 9.3). Como essas granulações predominam no seio sagital superior, a circulação do liquor no espaço subaracnóideo se faz de baixo para cima, devendo, pois, atravessar o espaço entre a incisura da tenda e o mesencéfalo. No espaço subaraenóideo da medula, o liquor desce em direção caudal (Fig. 9.5), mas apenas uma parte volta, pois há reabsorção liquórica nas pequenas granulações araenóideas existentes nos prolongamentos da dura-máter que acompanham as raízes dos nervos espinhais.

---

* *Assim, um cnccfalo que pese 1.500g no ar pesará menos de 50g em seu envoltório liquórico.*

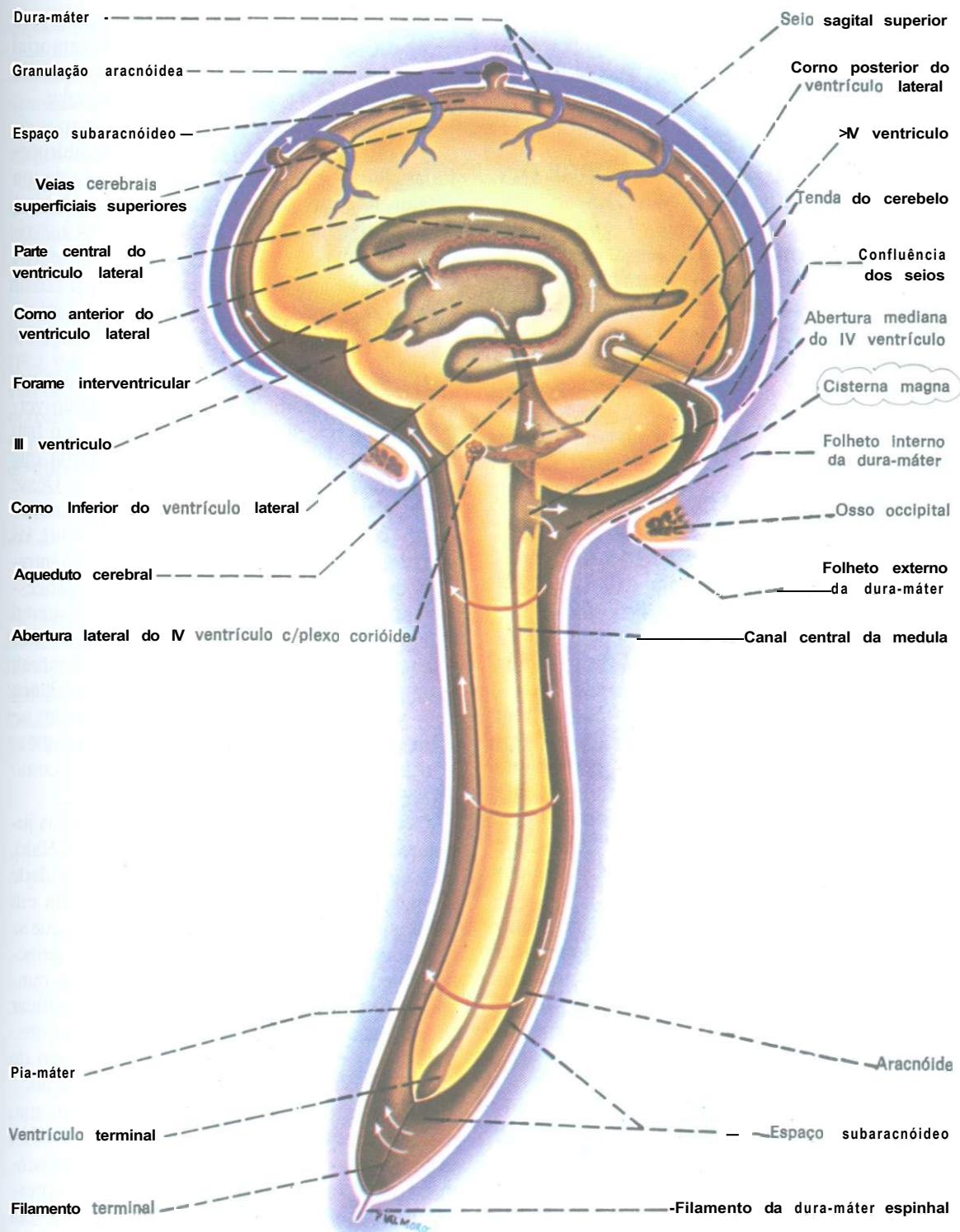



Fig. 9.5 — *Esquema da circulação do líquor.*

A circulação do líquor é extremamente lenta e são ainda discutidos os fatores que a determinam. Sem dúvida, a produção do liquor em uma extremidade e a sua absorção em outra já são suficientes para causar sua movimentação. Um outro fator é a pulsação das artérias intracranianas.

que, a cada sístolc, aumenta a pressão liquóriea, possivelmente contribuindo para empurrar o liquor através das granulações aracnóideas.

3.0 — CONSIDERAÇÕES ANATOMOCLÍNICAS SOBRE O LÍQUOR E AS MENINGES

O conhecimento das cavidades cerebrais que contêm líquor, assim como das meninges e suas relações com o encéfalo, é de grande relevância para a compreensão de uma série de condições patológicas com que freqüentemente se depara o clínico e, de modo especial, o neurologista A seguir, descreveremos algumas dessas condições, acentuando em cada caso a base anatômica.

3.1 — HIDROCEFALIA

Existem processos patológicos que interferem na produção, circulação e absorção do liquor, causando as chamadas *hidrocefalias*. Estas se caracterizam por um aumento da quantidade e da pressão do líquor, levando a uma dilatação dos ventrículos e compressão do tecido nervoso de encontro ao estojo ósseo, com conseqüências muito graves. Às vezes a hidrocefalia ocorre durante a vida letal, geralmente em decorrência de anomalias congênitas do sistema ventricular. Nesses casos, como os ossos do crânio ainda não estão soldados, há grande dilatação da cabeça da criança, o que freqüentemente dificulta o parto.

Existem dois tipos de hidrocefalias: comunicantes e não-comunicantes. As *hidrocefalias comunicantes* resultam de um aumento na produção ou deficiência na absorção do líquor, devidos a processos patológicos dos plexos corióides ou dos seios da dura-máter e granulações araenóideas. As *hidrocefalias não-comunicantes* são muito mais freqüentes e resultam de obstruções no trajeto do liquor, o que pode ocorrer nos seguintes locais:

a) forame interventricular, provocando dilatação do ventriculo lateral correspondente:
b) aqueduto cerebral, provocando dilatação do III ventriculo e dos ventrículos laterais;
c) aberturas mediana e laterais do IV ventrículo, provocando dilatação de todo o sistema ventricular;
d) incisura da tenda, impedindo a passagem do liquor do compartimento infratentorial para o supratentorial, provocando também dilatação dc todo o sistema ventricular.

Existem vários procedimentos cirúrgicos visando diminuir a pressão liquóriea nas hidrocefalias. Pode-se drenar o liquor por meio de um cateter, ligando um dos ventrículos cerebrais à veia jugular interna, ao átrio direito ou à cavidade peritoneal.

3.2 — HIPERTENSÃO CRANIANA

Do ponto de vista neurológico, um dos aspectos mais importantes da cavidade crânio-vertebral e seu revestimento dc dura-máter é o fato de ser uma cavidade completamente fechada, que não permite a expansão de seu conteúdo. Desse modo, o aumento de volume de qualquer componente da cavidade craniana reflete-se sobre os demais, levando a um aumento da pressão intracraniana. Tumores, hematomas e outros processos expansivos intracranianos comprimem não só as estruturas em sua vizinhança imediata, mas todas as estruturas da cavidade craniovertebral, determinando um quadro de hipertensão craniana com sintomas característicos, entre os quais se sobressai a dor de cabeça. Pode ocorrer também a formação de hérnias de tecido nervoso, como será visto no próximo item.

Quando se comprime no pescoço as veias jugulares internas que drenam o sangue do encéfalo, há estase sangüínea, com aumento da quantidade de sangue nos vasos cerebrais. Isso resulta em imediato aumento da pressão intracraniana que se reflete na pressão liquóriea o que pode ser detectado medindo-se essa pressão durante uma punção lombar. O fenômeno é utilizado para verificar se o espaço subaracnóideo da medula está obstruído, o que obviamente impede o aumento da pressão liquóriea abaixo do nível da obstrução.

Havendo suspeita de hipertensão craniana, deve-se fazer sempre um exame de fundo de olho. O nervo óptico é envolvido por um prolongamento do espaço subaracnóideo, levando à compressão do nervo óptico. Isso causa obliteração da veia central da retina, que passa em seu interior, o que resulta em ingurgitamento das veias da retina com edema da papila óptica. Essas modificações são facilmente detectadas no exame do fundo de olho. permitindo diagnosticar o quadro da hipertensão craniana e acompanhar sua evolução.

3.3 — HÉRNIAS INTRACRANIANAS

As pregas da dura-máter dividem a cavidade craniana em compartimentos separados por septos mais ou menos rígidos. Processos expansivos como tumores ou hematomas que se desenvolvem em um deles aumentam a pressão dentro do compartimento, podendo causar a protrusão de tecido nervoso para o compartimento vizinho. Formam-se desse modo hérnias intracranianas que podem causar sintomatologia grave. Assim, um tumor em um dos hemisférios cerebrais pode causar uma hérnia do giro do cíngulo (Fig. 9.6) que se insere entre a borda da foice do cérebro e o corpo, fazendo protrusão para o lado oposto. Entretanto, são mais importantes, pelas graves conseqüências que acarretam, as hérnias do úncus e das tonsilas.

3.3.1 — Hérnias do Úncus (Fig. 9.6)

Nesse caso, um processo expansivo cerebral determinando aumento de pressão no compartimento supratentorial empurra o úncus, que faz protrusão através da incisura da tenda, comprimindo o mesencéfalo (Fig. 9.6). A sintomatologia mais característica e mais grave que ocorre nesses casos é uma rápida perda da consciência ou coma profundo por lesão das estruturas mesencefálicas responsáveis pela ativação do córtex cerebral, que serão estudadas no Capítulo 20.

3.3.2 — Hérnias das Tonsilas (Fig. 9.6)

Um processo expansivo na fossa posterior, por exemplo, um tumor em um dos hemisférios cerebelares (Fig. 9.6), pode empurrar as tonsilas do cerebelo através do forame magno, produzindo uma hérnia de tonsila. Nesse caso, há compressão do bulbo, levando geralmente à morte por lesão dos centros respiratório e vasomotor, que nele se localizam. O quadro pode ocorrer também quando se faz uma punção lombar em pacientes com hipertensão craniana. Neste caso há uma súbita diminuição da pressão liquórica no espaço subaraenóideo espinhal, causando a penetração das tonsilas através do forame magna

3.4 — HEMATOMAS EXTRADURAIS E SUBDURAIS

Uma das complicações mais freqüentes dos traumatismos cranianos são as rupturas de va-

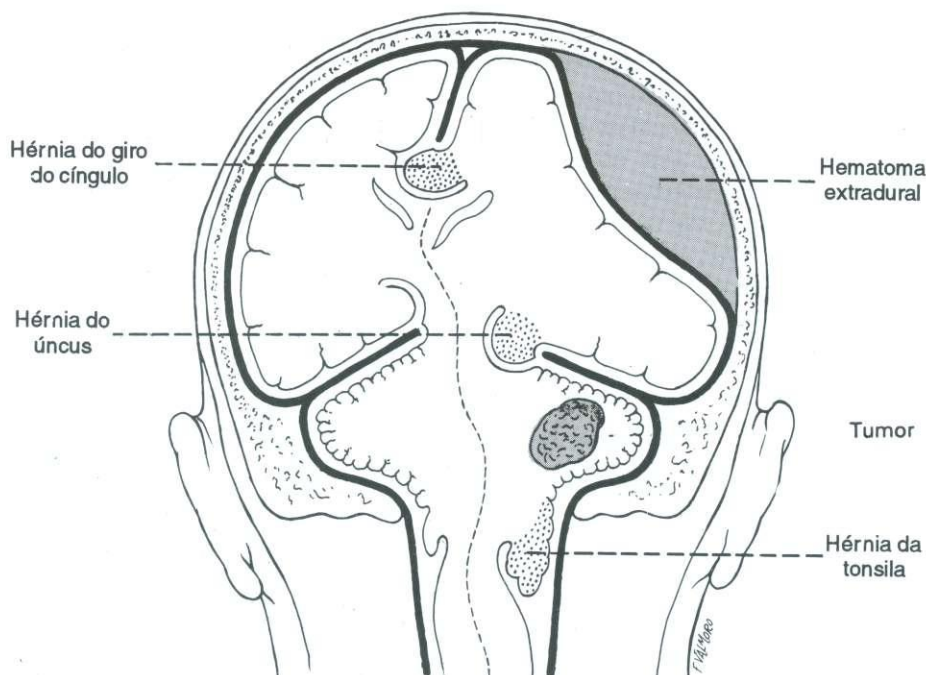



Fig. 9.6 — *Esquema dos principais tipos de hérnias intracranianas. Notam-se também um hematoma extradural c um tumor cerebelar, causas freqüentes de hipertensão craniana.*

sos que resultam em acúmulo de sangue nas meninges sob a forma de hematomas. Assim, lesões das artérias meníngeas, principaln.ente da artéria meníngea média, resultam em acúmulo de sangue entre a dura-máter e os ossos do crânio, formando-se um *hematoma extradural*. O hematoma cresce, separando a dura-máter do osso, e empurra o tecido nervoso para o lado oposto (Fig. 9.6), levando à morte em poucas horas se o sangue em seu interior não for drenado.

Nos *hematomas subdurais*, o sangramento se dá no espaço subdural, geralmente em conseqüência da ruptura de uma veia cerebral no ponto em que ela entra no seio sagital superior. São mais freqüentes os casos em que o crescimento do hematoma é lento, e a sintomatologia aparece tardiamente.

No caso de hemorragias no espaço subaracnóideo, não se formam hematomas, uma vez que o sangue se espalha no liquor, podendo ser visualizado em uma punção lombar.

Capítulo 10

Vascularização do Sistema Nervoso Central e Barreiras Encefálicas

A — VASCULARIZAÇÃO DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL

1.0 — IMPORTÂNCIA DA VASCULARIZAÇÃO DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL

O sistema nervoso é formado de estruturas nobres e altamente especializadas, que exigem para seu metabolismo um suprimento permanente e elevado de glicose e oxigênio. Com efeito, a atividade funcional do encéfalo depende de um processo de oxidação de carboidratos e não pode, mesmo temporariamente, ser sustentada por metabolismo anaeróbio. Assim, o consumo de oxigênio e glicose pelo encéfalo é muito elevado, o que requer um fluxo sangüíneo geralmente intenso. Quedas na concentração de glicose e oxigênio no sangue circulante ou, por outro lado, a suspensão do afluxo sangüíneo ao encéfalo não são toleradas além de um período muito curto. A parada da circulação cerebral por mais dc sete segundos leva o indivíduo à perda da consciência. Após cerca de cinco minutos começam a aparecer lesões que são irreversíveis, pois, como se sabe, as células nervosas não se regeneram. Isso acontece, por exemplo, como conseqüência de paradas cardíacas que podem ocorrer acidentalmente durante anestesias gerais. Áreas diferentes do sistema nervoso central são lesadas em tempos diferentes, sendo que as áreas filogeneticamente mais recentes são as que primeiro se alteram. Assim, o neocórtex será lesado antes do páleo c do arquicórtex, e o sistema nervoso supra-segmentar antes do segmentar. A área lesada em último lugar é o centro respiratório situado no bulbo. Os processos patológicos que acometem os vasos cerebrais, tais como tromboses, embolias e hemorragias, ocorrem com uma freqüência cada vez maior com o aumento da vida média do homem moderno. Eles interrompem a circulação de determinadas áreas encefálicas, causando necrose c amolecimento do tecido nervoso, acompanhados de alterações motoras, sensoriais ou psíquicas, que podem ser características para a área c a artéria lesada. A prevenção, diagnóstico e tratamento de todos estes processos exige um estudo da vascularização do sistema nervoso central, o que será feito a seguir, considerando-se separadamente o encéfalo. a medula, a vascularização arterial e a venosa. Os capilares do sistema nervoso central serão estudados no final deste capítulo (item 4.2). Cumpre lembrar que no sistema nervoso central, ao que parece, não existe circulação linfática. Por outro lado, existe aí a circulação liquóriea, já estudada, que, entretanto, não corresponde quer anatômica. quer funcionalmente à circulação linfática

2.0 — VASCULARIZAÇÃO DO ENCÉFALO

2.1 — FLUXO SANGÜÍNEO CEREBRAL

O fluxo sangüíneo cerebral é muito elevado, sendo superado apenas pelo do rim e do coração. Calcula-se que em um minuto circula pelo encéfalo uma quantidade de sangue aproxima-

damente igual a seu próprio peso. O estudo dos fatores que regulam o fluxo sangüíneo é de grande importância clínica. Conforme demonstrou Kety (1950)*, o fluxo sangüíneo cerebral (FSC) é diretamente proporcional à diferença entre a pressão arterial (PA) e a pressão venosa (PV) e inversamente proporcional à resistência cerebrovascular (RCV)**. Assim temos:

$$FSC = \frac{PA - PV}{RCV}$$

Como a pressão venosa cerebral varia muito pouco, a fórmula pode ser simplificada: $FSC = PA/RCV$, ou seja, o fluxo sangüíneo cerebral é diretamente proporcional à pressão arterial e inversamente proporcional à resistência cerebrovascular. Assim, as variações da pressão arterial sistêmica refletem-se diretamente no fluxo sangüíneo cerebral, o que explica o fato de que a sintomatologia de certas lesões que diminuem o calibre dos vasos cerebrais (arteriosclerose) são mais graves em pessoas hipotensas.

A resistência cerebrovascular depende principalmente dos seguintes fatores:

a) *pressão intracraniana* — cujo aumento, decorrente de condições diversas (veja Cap. 8, item 6.0), eleva a resistência cerebrovascular;

b) *condição da parede vascular* — que pode estar alterada em certos processos patológicos, como as arterioescleroses, que aumentam consideravelmente a resistência cerebrovascular;

c) *viscosidade do sangue*;

d) *calibre dos vasos cerebrais* — regulado por fatores humorais e nervosos, estes últimos representados por fibras do sistema nervoso autônomo, que se distribuem na parede das arteríolas cerebrais. Entre os fatores humorais, o mais importante é o CO_2, cuja ação vasodilatadora dos vasos cerebrais é muito grande.

Com o emprego de algumas técnicas modernas***, pôde-se medir o fluxo sangüíneo em áreas restritas do cérebro de um indivíduo e assim estudar as variações desse fluxo, entre as diversas áreas, em diferentes condições fisiológicas e patológicas. Verificou-se que o fluxo sangüíneo é maior nas áreas mais ricas em sinapse, de tal modo que, na substância cinzenta, ele é maior que na branca, o que obviamente está relacionado com a maior atividade metabólica da substância cinzenta. No córtex cerebral existem diferenças entre os fluxos sangüíneos das diversas áreas, mas estas diferenças tendem a diminuir durante o sono. O fluxo sangüíneo de uma determinada área do cérebro varia com seu estado funcional. Assim, medindo-se o fluxo sangüíneo na área visual do córtex de um animal, verifica-se que ele aumenta consideravelmente quando o animal é colocado diante de um foco luminoso, o que determina a chegada de impulsos nervosos no córtex visual. Sabendo-se que a atividade celular causa liberação de CO_2 e que este aumenta o calibre vascular, pode-se entender os aumentos locais do fluxo sangüíneo em áreas cerebrais submetidas a uma maior solicitação funcional.

2.2 — VASCULARIZAÇÃO ARTERIAL DO ENCÉFALO

2.2.1 — Peculiaridades da Vascularização Arterial do Encéfalo

O encéfalo é irrigado pelas artérias carótidas internas e vertebrais, originadas no pescoço, onde, entretanto, não dão nenhum ramo importante, sendo, pois, especializadas para a irrigação do encéfalo. Na base do crânio estas artérias formam um polígono anastomótico, o polígono de Willis, de onde saem as principais artérias para a vascularização cerebral. Deste modo, a vascularização do encéfalo é peculiar, pois, ao contrário da maioria das vísceras, não possui

* *Kety, S.S. — 1950 — "Circulation and metabolism of the human brain in health and disease."* American Journal of Medicine. *8:205-217*.

** *Por resistência cerebrovascular entende-se a resistência que os vasos cerebrais oferecem ao afluxo sangüíneo. Em termos numéricos, define-se como a pressão em milímetros de mercúrio necessária para impulsionar 1 ml de sangue por 100 g de cérebro durante um minuto.*

*** *Em uma delas o indivíduo inala um gás radioativo difusível (xenônio) e mede-se com um monitor extracraniano acoplado a um computador a velocidade de difusão do gás na área cerebral que se deseja estudar. Como essa velocidade é proporcional ao fluxo sangüíneo da área, pode-se medir esse fluxo em áreas restritas do cérebro. Pode-se usar também a técnica de tomografia de emissão de pósitron* (Positron Emission Tomography — *PET), que será estudada no Capítulo 31.*

um hilo para a penetração dos vasos. Estes penetram no encéfalo a partir de vários pontos de sua superfície. Do ponto de vista de sua estrutura, as artérias cerebrais são também peculiares. Elas têm, de um modo geral, paredes finas, comparáveis às paredes de veias de mesmo calibre situadas cm outras áreas do organismo. Este é um fator que torna as artérias cerebrais especialmente propensas as hemorragias. A túnica média das artérias cerebrais tem menos fibras musculares, e a túnica elástica interna é mais espessa e tortuosa que a de artérias de outras áreas. Este espessamento da túnica elástica interna constitui um dos dispositivos anatômicos que protegem o tecido nervoso, amortecendo o choque da onda sistólica responsável pela pulsação das artérias. Existem outros dispositivos anatômicos com a mesma finalidade, sendo um deles a existência de espaços perivasculares contendo líquor, como já foi referido no capítulo anterior (item 4.0). Também contribui para amortecer o choque da onda sistólica a tortuosidade que apresentam as artérias carótidas internas e as artérias vertebrais ao penetrar no crânio, assim como as artérias que saem do polígono de Willis (Fig. 10.1). No homem, ao contrário do que ocorre em outros mamíferos, há uma quase independência entre as circulações arteriais intracraniana e extracraniana. As poucas anastomoses existentes, na maioria das vezes, são incapazes de manter uma circulação colateral útil em caso de obstrução no território da carótida interna. Entretanto, tem uma certa importância a anastomose entre a artéria angular, derivada da carótida externa, c a artéria nasal, ramo da artéria oftálmica, que por sua vez deriva da carótida interna. Esta anastomose pode manter a circulação da órbita e de parte das vias ópticas em casos de obstrução da carótida interna. A seguir, estudaremos as artérias carótidas internas e vertebrais, que constituem, com as artérias basilares, os dois sistemas de irrigação encefálica, o *sistema carotídeo interno* e o *sistema vértebro-basilar*.

2.2.2 — Artéria Carótida Interna (Figs. 4.2, 10.1)

Ramo de bifurcação da carótida comum, a artéria carótida interna, após um trajeto mais ou menos longo no pescoço, penetra na cavidade craniana pelo canal carotídeo do osso temporal, atravessa o seio cavernoso, no interior do qual descreve em um plano vertical uma dupla curva, formando um *S*, o *sifão carotídeo* (Fig. 9.2), que aparece muito bem nas arteriografias da carótida (Fig. 10.4). A seguir perfura a dura-máter e a aracnóide e, no início do sulco lateral, próximo à substância perfurada anterior, divide-se em seus dois ramos terminais: as artérias *cerebrais média* e *anterior* (Fig. 10.1). Além de seus dois ramos terminais, a artéria carótida interna dá os seguintes ramos mais importantes:

a) *artéria oftálmica* — emerge da carótida quando esta atravessa a dura-máter, logo abaixo do processo clinóide anterior. Irriga o bulbo ocular e formações anexas (Fig. 9.2);
b) *artéria comunicante posterior* (Fig. 10.1) — anastomosa-se com a artéria cerebral posterior, ramo da basilar, contribuindo para a formação do polígono de Willis;
c) *artéria corióidea anterior* (Fig. 10.1) — dirige-se para trás, ao longo do tracto óptico, penetra no corno inferior do ventriculo lateral, irrigando os plexos corióides e parte da cápsula interna.

2.2.3 — Artérias Vertebral e Basilar (Figs. 9.2, 10.1)

As artérias vertebrais direita e esquerda destacam-se das artérias subclávias, direita e esquerda correspondentes, sobem no pescoço dentro dos forames transversos das vértebras cervicais, perfuram a membrana atlanto-occipitai, a dura-máter e a aracnóide, penetrando no crânio pelo forame magno. Percorrem a seguir a face ventral do bulbo (Fig. 10.1) e, aproximadamente ao nível do sulco bulbo-pontino, fundem-se para constituir um tronco único, a *artéria basilar* (Fig. 10.1). As artérias vertebrais dão origem às duas *artérias espinhais posteriores* e à *artéria espinhal anterior,* que serão estudadas a propósito da vascularização da medula (Fig. 10.1). Originam ainda as *artérias cerebelares inferiores posteriores,* que irrigam a porção inferior e posterior do cerebelo, bem como a área lateral do bulbo. A artéria basilar percorre geralmente o sulco basilar da ponte e termina anteriormente, bifurcando-se para formar as *artérias cerebrais posteriores direita* e *esquerda,* que serão estudadas mais adiante.

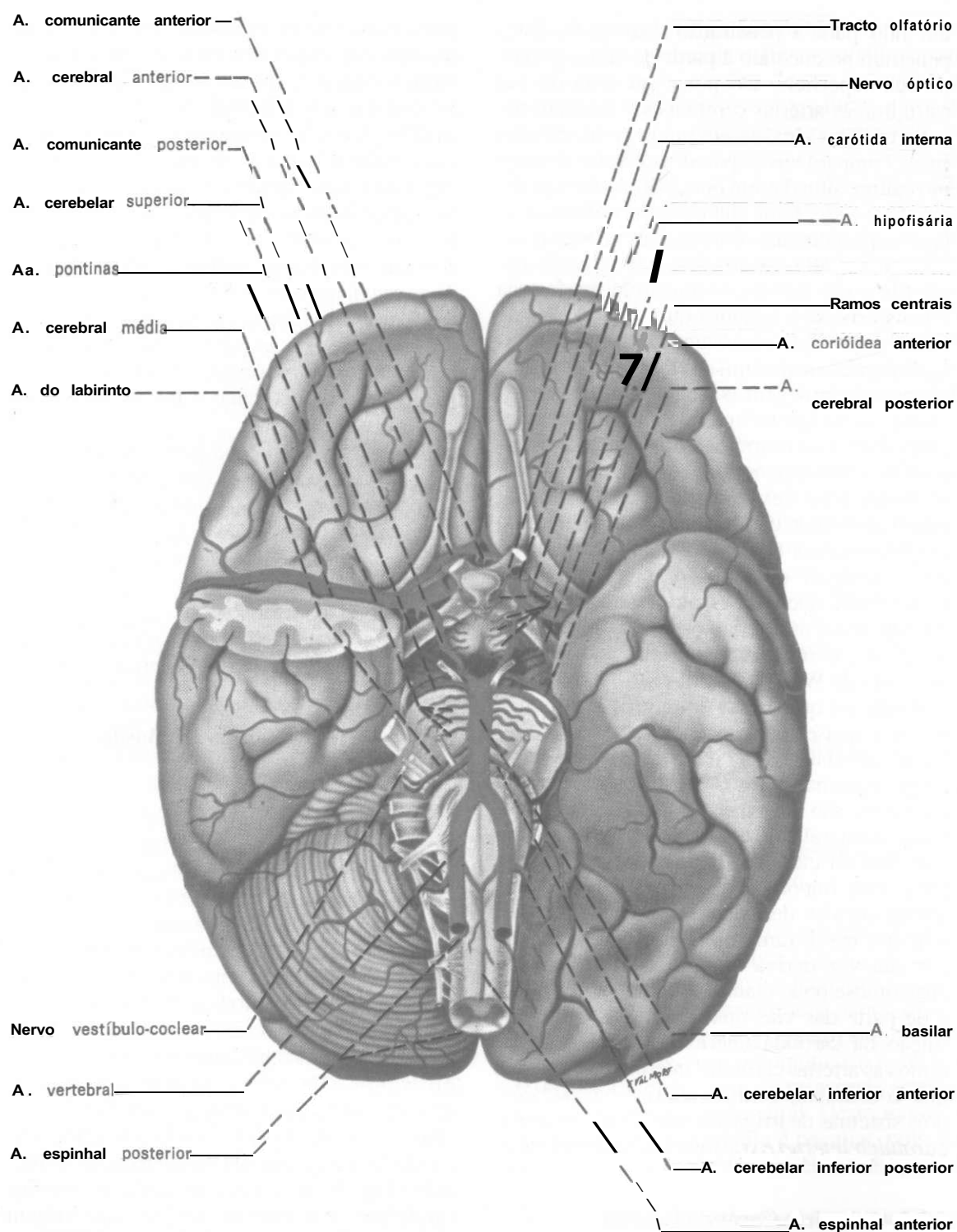



Fig. 10.1 — *Artérias da base do encéfalo. Círculo arterial do cérebro (polígono de Willis).*

Neste trajeto a artéria basilar emite os seguintes ramos mais importantes (Fig. 10.1):

a) *artéria cerebelar superior* — nasce da basilar, logo atrás das cerebrais poste-

riores, distribuindo-se ao mesencéfalo e parte superior do cerebelo;

b) *artéria cerebelar inferior anterior* — distribui-se à parte anterior da face inferior do cerebelo;

c) *artéria do labirinto* — penetra no mcato acústico interno junto com os nervos facial e vestibulococlear, vascularizando estruturas do ouvido interno.

2.2.4 — O Círculo Arterial do Cérebro

O círculo arterial do cérebro ou *polígono de Willis* é uma anastomose arterial dc forma poligonal situado na base do cérebro, onde circunda o quiasma óptico e o túber cinéreo, relacionando-se ainda com a fossa interpeduncular e a substância perfurada anterior (Fig. 10.1). É formado pelas porções proximais das artérias cerebrais anterior, média e posterior, pela artéria comunicante anterior e pelas artérias comunicantes posteriores, direita e esquerda (Fig. 10.1). A *artéria comunicante anterior* é pequena e anastomosa as duas artérias cerebrais anteriores adiante do quiasma óptico. As *artérias comunicantes posteriores unem* de cada lado as carótidas internas com as cerebrais posteriores correspondentes. Deste modo elas anastomosam o sistema carotídeo interno ao sistema vertebral. Entretanto, esta anastomose é apenas potencial, pois, em condições normais, não há passagem significativa de sangue do sistema vertebral para o carotídeo interno ou vice-versa. Do mesmo modo. praticamente não existe troca de sangue entre as metades esquerda e direita do círculo arterial. O círculo arterial do cérebro. em casos favoráveis, permite a manutenção de um fluxo sangüíneo adequado em todo o cérebro, em casos de obstrução de uma (ou mais) das quatro artérias que irrigam o cérebro. É fácil entender que a obstrução, por exemplo, da carótida direita determina uma queda de pressão no seu território, o que faz com que o sangue flua para aí através da artéria comunicante anterior e da artéria comunicante posterior direita. Entretanto, o círculo arterial do cérebro é sede de muitas variações, que tornam imprevisível o seu comportamento diante de um determinado quadro de obstrução vascular. Demais, o estabelecimento de uma circulação colateral adequada, também aqui, como em outras áreas, depende de vários fatores, tais como a rapidez com que se instala o processo obstrutivo e o estado da parede arterial, o qual, por sua vez, depende da idade do paciente. As artérias cerebrais anterior, média e posterior dão *ramos corticais* e *ramos centrais*. Os ramos corticais destinam-se à vascularização do córtex e substância branca subjacente. Os ramos centrais emergem do círculo arterial do cérebro, ou seja. da porção proximal de cada uma das artérias cerebrais c das artérias comunicantes (Fig. 10.1). Eles penetram perpendicularmente na base do cérebro c vascularizam o diencéfalo, os núcleos da base c a cápsula interna. Quando se retira a pia-máter, permanecem os orifícios de penetração destes ramos centrais, o que valeu às áreas onde eles penetram a denominação de *substância perfurada*, anterior e posterior. São especialmente importantes, e recebem a denominação dc *artérias estriadas*, os ramos centrais que se destacam da artéria cerebral média e penetram na substância perfurada anterior, vascularizando a maior parte do corpo estriado c da cápsula interna.* Tendo cm vista que pela cápsula interna passam quase todas as fibras de projeção do córtex, pode-se entender que lesões destas artérias são particularmente graves**. Classicamente admitia-se que os ramos centrais do polígono de Willis não se anastomosavam. Sabemos hoje que estas anastomoses existem mas são escassas, de tal modo que estas artérias comportam-se funcionalmente como artérias terminais.

2.2.5 — Território Cortical das Três Artérias Cerebrais (Figs. 10.2, 10.3)

Ao contrário dos ramos profundos, os ramos corticais das artérias cerebrais possuem anastomoses, pelo menos em seu trajeto na superfície do cérebro. Entretanto. estas anastomoses usualmente são insuficientes para a manutenção de uma circulação colateral adequada em casos

* *Contribu cm ainda para a vascularização da cápsula inte nu c do corpo estriado a* artéria corióidea anterior e a artéria estriada medial *(artéria recorrente dc Heubner), ramo da cerebral anterior que existe cm 80% dos casos.*

** *Uma das artérias est riadas, considerada por Charcot o vaso cerebral mais sujeito às hemorragias, foi por ele denominada "artéria da hemorragia cerebral". Usualmente, entretanto. esta artéria não se distingue anatomicamente das demais.*

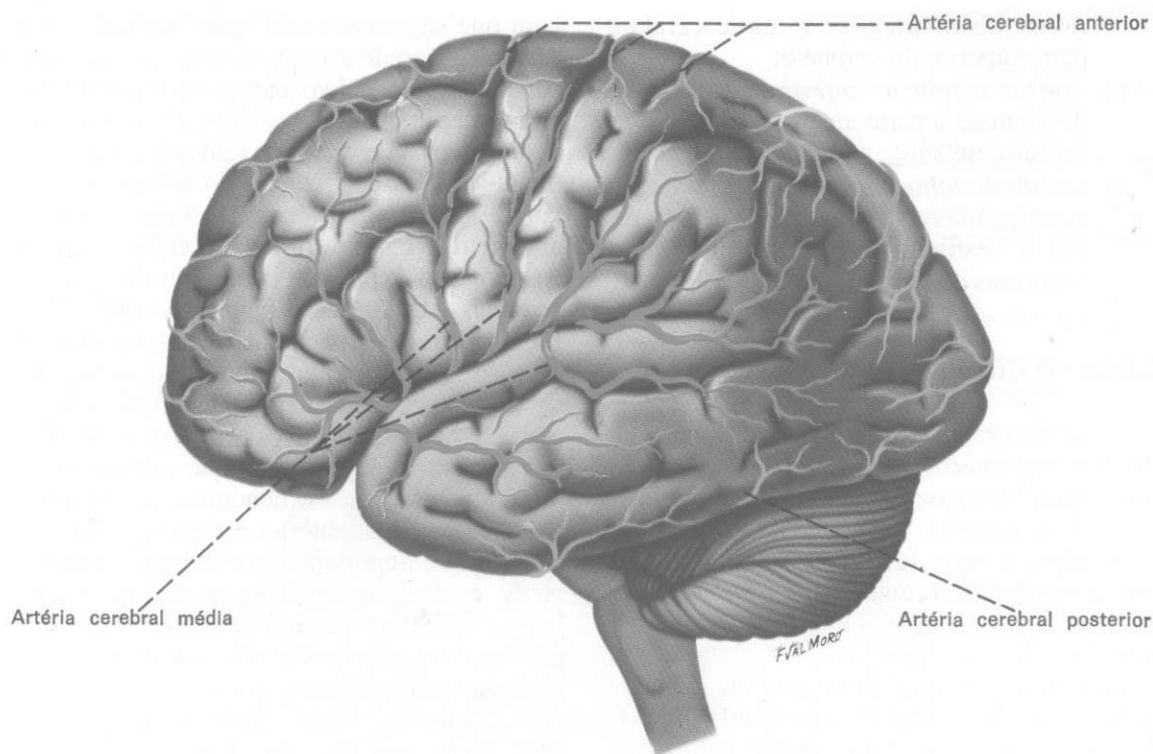



Fig. 10.2 — *Artérias da face súpero-lateral do cérebro.*

de obstrução de uma destas artérias ou de seus ramos mais calibrosos. Resultam, pois, nestes casos, lesões de áreas mais ou menos extensas do córtex cerebral com um quadro sintomatológia) característico das síndromes das artérias cerebrais *anterior, média* e *posterior.* O estudo minucioso destas síndromes, objeto dos cursos de neurologia, exige um conhecimento dos territórios corticais irrigados pelas três artérias cerebrais, o que será feito a seguir.

a) *artéria cerebral anterior* — um dos ramos de bifurcação da carótida interna, a artéria cerebral anterior dirige-se para diante e para cima, ganha a fissura longitudinal do cérebro (Fig. 10.3), curva-se em torno do joelho do corpo caloso e ramifica-se na face medial de cada hemisfério desde o lobo frontal até o sulco parieto-occipital. Distribui-se também à parte mais alta da face súpero-lateral de cada hemisfério, onde se limita com o território da artéria cerebral média (Fig. 10.2). A obstrução de uma das artérias cerebrais anteriores causa, entre outros sintomas, paralisia e diminuição da sensibilidade no membro inferior do lado oposto, decorrente da lesão de partes das áreas corticais motora e sensitiva que correspondem à perna e que se localizam na porção alta dos giros pré e pós-central (lóbulo paracentral).

b) *artéria cerebral média* — ramo principal da carótida interna, a artéria cerebral média percorre o sulco lateral em toda a sua extensão, distribuindo ramos que vascularizam a maior parte da face súpero-lateral de cada hemisfério (Fig. 10.2). Este território compreende áreas corticais importantes, como a área motora, a área somestésica, o centro da palavra falada e outras. Obstruções da artéria cerebral média, quando não são fatais, determinam sintomatologia muito rica, com paralisia e diminuição da sensibilidade do lado oposto do corpo (exceto no membro inferior), podendo haver ainda graves distúrbios da linguagem. O quadro é especialmente grave se a obstrução atingir também ramos profundos da artéria cerebral média (artérias estriadas), que, como já foi exposto, vascularizam os núcleos da base e a cápsula interna.

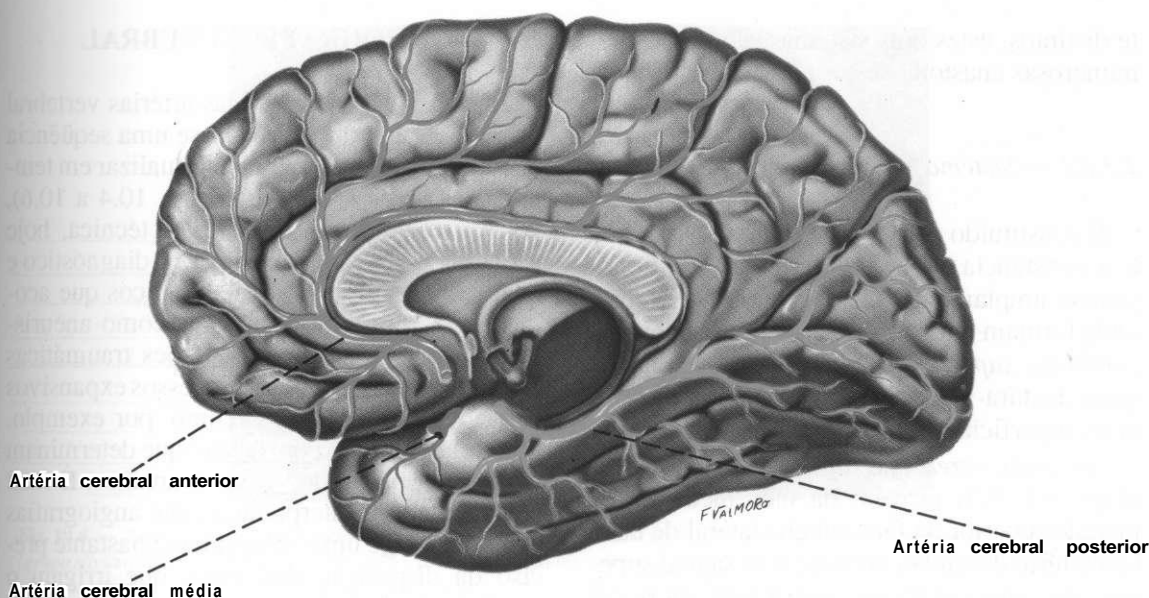



Fig. 10.3 — *Artérias da face medial e inferior do cérebro.*

c) *artéria cerebral posterior* — ramos de bifurcação da artéria basilar (Figs. 10.2 e 10.3), as artérias cerebrais posteriores dirigem-se para trás, contornam o pedúnculo cerebral e, percorrendo a face inferior do lobo temporal, ganham o lobo occipital. A artéria cerebral posterior irriga, pois, a área visual situada no lobo occipital. e sua obstrução causa cegueira em uma parte do campo visual.

2.3 — VASCULARIZAÇÃO VENOSA DO ENCÉFALO

2.3.1 — Generalidades

As veias do encéfalo, de um modo geral, não acompanham as artérias, sendo maiores e mais calibrosas do que elas. Drenam para os *seios da dura-máter,* de onde o sangue converge para as veias jugulares internas, que recebem praticamente todo o sangue venoso encefálico. Os seios da dura-máter ligam-se também às veias extracranianas por meio de pequenas veias emissárias que passam através de pequenos forames no crânio. As paredes das veias encefálicas são muito finas e praticamente desprovidas de musculatura. Faltam assim os elementos necessários a uma regulação ativa da circulação venosa. Esta se faz principalmente sob a ação de três forças:

a) aspiração da cavidade torácica, determinada pelas pressões subatmosféricas da cavidade torácica, mais evidente no início da inspiração;
b) força da gravidade, notando-se que o retorno sangüíneo do encéfalo se faz a favor Ja gravidade, o que torna desnecessária a existência de válvulas nas veias cerebrais;
c) pulsação das artérias, cuja eficácia é aumentada pelo fato de que se faz em uma cavidade fechada. Este fator é mais eficiente no seio cavernoso, cujo sangue recebe diretamente a força expansiva da carótida interna, que o atravessa.

O leito venoso do encéfalo é muito maior que o arterial; conseqüentemente, a circulação venosa é muito mais lenta. A pressão venosa no encéfalo é muito baixa e varia muito pouco em razão da grande distensibilidade das veias e seios. Os seios da dura-máter já foram estudados no capítulo anterior (item 2.3). A seguir serão descritas as principais veias do encéfalo.

2.3.2 — Veias do Cérebro

As veias do cérebro dispõem-se em dois sistemas: o *sistema venoso superficial* e o *sistema venoso profundo.* Embora anatomicamen-

te distintos, estes dois sistemas são unidos por numerosas anastomoses.

2.3.2.1 — *Sistema Venoso Superficial*

É constituído por veias que drenam o córtex e a substância branca subjacente, anastomosam-se amplamente na superfície do cérebro, onde formam grandes troncos venosos, as *veias cerebrais superficiais,* que desembocam nos seios da dura-máter. Distinguem-se veias cerebrais superficiais superiores e inferiores.

As *veias cerebrais superficiais superiores* (Figs. 9.1, 9.3) provêm da face medial e da metade superior da face súpero-lateral de cada hemisfério desembocando no seio sagital superior. As *veias cerebrais superficiais inferiores* provêm da metade inferior da face súpero-lateral de cada hemisfério e de sua face inferior, terminando nos seios da base (petroso superior e cavernoso) e no seio transverso. A principal veia superficial inferior é a *veia cerebral média superficial,* que percorre o sulco lateral e termina, em geral, no seio cavernoso.*

23.2.2 — *Sistema Venoso Profundo*

Compreende veias què drenam o sangue de regiões situadas profundamente no cérebro, tais como: o corpo estriado, a cápsula interna, o diencéfalo e grande parte do centro branco medular do cérebro. A mais importante veia deste sistema é a *veia cerebral magna* ou *veia de Galeno,* para a qual converge quase todo o sangue do sistema venoso profundo do cérebro. A veia cerebral magna é um curto tronco venoso ímpar e mediano formado pela confluência das *veias cerebrais internas,* logo abaixo do esplênio do corpo caloso, desembocando no seio reto (Fig. 9.1). Suas paredes muito finas são facilmente rompidas, o que às vezes ocorre em recém-nascidos como resultado de traumatismos da cabeça durante o parto.

** A veia cerebral média superficial geralmente se liga à veia anastomótica superior (dc Trolard), tributária do seio sagital superior, constituindo, assim, importante via anastomótica entre os seios venosos da abóbada c da base do crânio. Anastomosa-se com as veias tributárias do seio transverso através da veia anastomótica inferior (de Labbé).*

2.4 — ANGIOGRAFIA CEREBRAL

Injetando-se contraste nas artérias vertebral ou carótida interna e tirando-se uma seqüência de radiografias, consegue-se visualizar em tempos sucessivos as artérias (Figs. 10.4 a 10.6), veias e seios do encéfalo. Esta técnica, hoje rotineira, é dc grande valia para o diagnóstico e localização de processos patológicos que acometem os vasos cerebrais, tais como aneurismas, tromboses, embolias, lesões traumáticas etc. Pode, ainda, localizar processos expansivos das cavidades cranianas (como, por exemplo, tumores cerebrais) pelo desvio que determinam no trajeto normal dos vasos cranianos. É fácil entender que a interpretação das angiografias cerebrais exige um conhecimento bastante preciso da disposição dos vasos que irrigam o encéfalo. Para o estudo de estruturas supratentoriais, indica-se a angiografia feita pela carótida esquerda ou direita, conforme o lado onde se suspeita que esteja localizada a lesão (Figs. 10.4, 10.5). Para o estudo das estruturas da fossa infratentorial e de parte do cérebro, indica-se a angiografia feita pela vertebral (Fig. 10.6). Neste caso, o contraste pode ser injetado indiferentemente de um ou de outro lado, pois as duas artérias unem-se para formar a basilar. Deve-se, entretanto, escolher o lado apropriado cm caso de suspeita de lesão da artéria cerebelar inferior posterior, uma vez que ela se destaca da própria artéria vertebral.

Para visualização dos seios da dura-máter, em certos casos, há vantagem cm se fazer a *sinugrafia direta,* na qual o contraste é injetado diretamente dentro dos seios.

3.0 — VASCULARIZAÇÃO DA MEDULA

A medula espinhal é irrigada pelas *artérias espinhais anterior* e *posteriores,* ramos da artéria vertebral, e pelas *artérias radiculares,* que penetram na medula com as raízes dos nervos espinhais.

A *artéria espinhal anterior* é um tronco único formado pela confluência de dois curtos ramos recorrentes que emergem das artérias vertebrais direita e esquerda (Fig. 10.1). Dispõe-se superficialmente na medula, ao longo da fissura mediana anterior até ao cone medular (Fig. 4.5). Emite as *artérias sulcais,* que se destacam perpendicularmente e penetram no

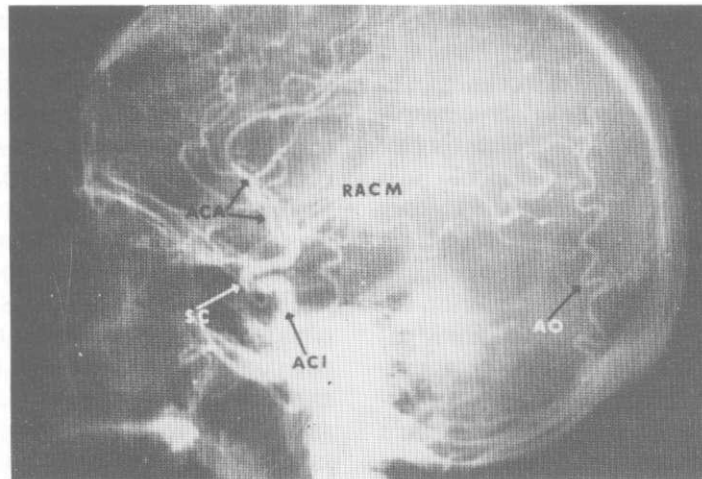



Fig. 10.4 — *Arteriografia carotídea em incidência lateral. ACA = artéria cerebral anterior; RACM = ramos da artéria cerebral média (grupo silviano dos neuro-radiologistas); ACI = artéria carótida interna; SC = sifão carotídeo; AO = artéria occipital, ramo da carótida externa. (Gentileza do Prof. Guilherme Cabral Filho.)*

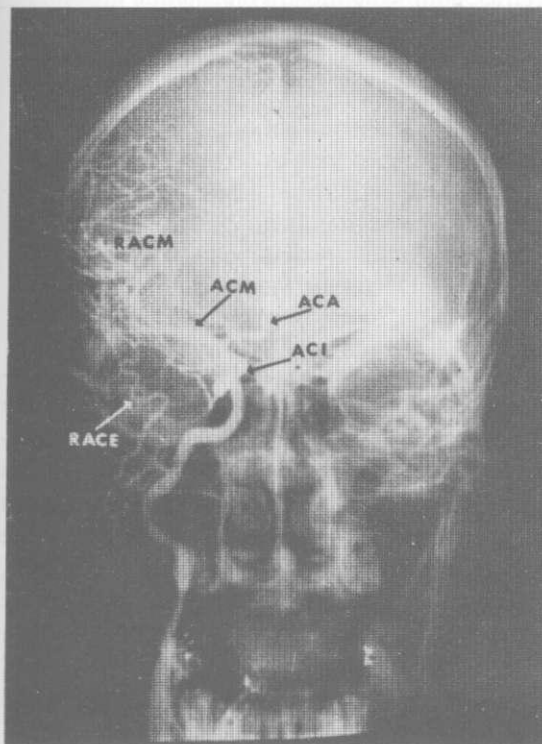



Fig. 10.5 — *Arteriografia carotídea em incidência ântero-posterior (AP). ACI = artéria carótida interna; ACA = artéria cerebral anterior; RACM = ramos da artéria cerebral média (grupo silviano dos neuro-radiologistas); RACE = ramo da artéria carótida externa. (Gentileza do Prof. Guilherme Cabral Filho.)*

tecido nervoso pelo fundo da fissura mediana anterior. As artérias espinhais anteriores vascularizam as colunas e os funículos anterior e lateral da medula.

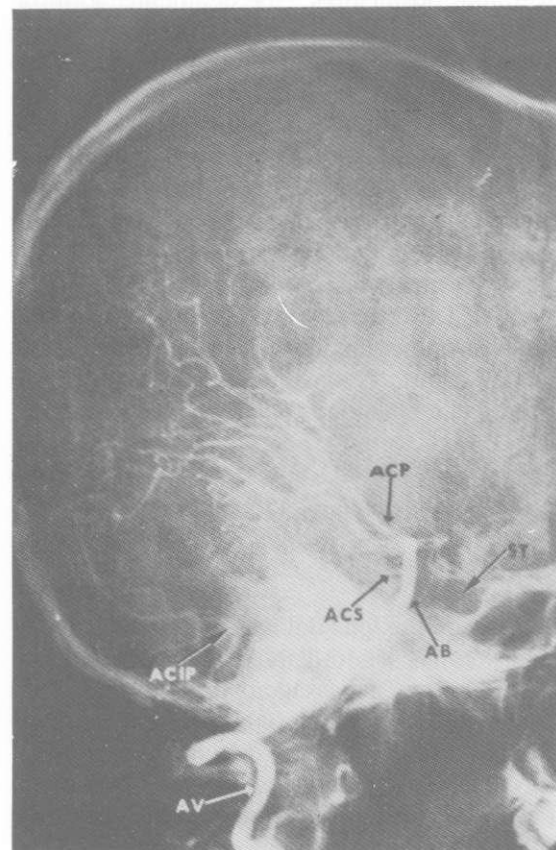



Fig. 10.6 — *Arteriografia vertebral em incidência lateral. AV = artéria vertebral; AB = artéria basilar; ACP = artéria cerebral posterior; ACS = artéria cerebelar superior; ACIP = artéria cerebelar inferior posterior; ST = sela túrcica. (Gentileza do Prof. Gilberto Belisário Campos.)*

As *artérias espinhais posteriores direita* e *esquerda* emergem das artérias vertebrais cor-

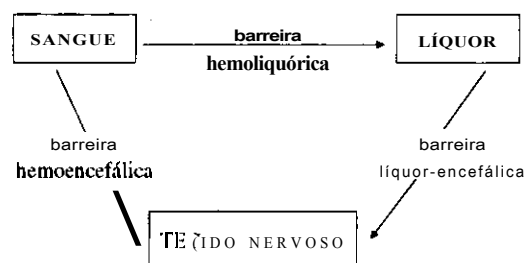
respondentes, dirigem-se dorsalmente contornando o bulbo (Fig. 10.1) e, a seguir, percorrem longitudinalmente a medula, medialmente às radículas das raízes dorsais dos nervos espinhais (Fig. 4.5). As artérias espinhais posteriores vascularizam a coluna e o funículo posterior da medula.

As *artérias radiculares* (Fig. 4.5) derivam dos *ramos espinhais* das artérias segmentares do pescoço e do tronco (tireóidea inferior, intercostais. lombares c sacrais). Estes ramos penetram nos forames intervertebrais com os nervos espinhais e dão origem às artérias *radiculares anterior* e *posterior,* que ganham a medula com as correspondentes raízes dos nervos espinhais (Fig. 4.5). As artérias radiculares anteriores anastomosam-se com a espinhal anterior, e as artérias radiculares posteriores com as espinhais posteriores. Classicamente, admitia-se que estas anastomoses se formavam em todos os níveis, constituindo um sistema de reforço à circulação originada nas artérias vertebrais. Entretanto, sabe-se hoje que a maioria das artérias radiculares é muito pequena c vasculariza apenas as raízes sem atingir a medula. Das 60 artérias radiculares que penetram com os nervos espinhais, apenas seis ou oito realmente contribuem para a vascularização da medula. Deste modo, o conceito de uma vascularização segmentar da medula não é mais aceito.

B — BARREIRAS ENCEFÁLICAS

1.0 — CONCEITO

As barreiras encefálicas podem ser conceituadas como sendo dispositivos que impedem ou dificultam a passagem de substâncias do sangue para o tecido nervoso, do sangue para o líquor, ou do liquor para o tecido nervoso. Em última análise, são dispositivos que dificultam a troca de substâncias entre o tecido nervoso e os diversos compartimentos de líquido do sistema nervoso central.

A primeira noção de que os capilares do sistema nervoso central teriam uma permeabilidade diferente dos demais foi obtida através de experiências realizadas no início deste século. Verificou-se que, injetando em um animal certos corantes vitais, como o azul-de-tripan, todos os órgãos se coravam, com exceção do cérebro, o que indica que estes corantes não atravessam a parede dos capilares cerebrais. Entretanto, quando o azul-de-tripan era injetado no liquor, havia coloração do tecido nervoso cerebral. Verificou-se também que a injeção de toxina tetânica ou de bile no liquor dava sintomas mais graves do que quando uma dose dez vezes maior, da mesma substância tóxica, era injetada no sangue. Surgiu assim a noção de que qualquer substância caindo no liquor já estaria em contato com o tecido nervoso, mas que existe uma *barreira hemoencefálica* entre o sangue e o tecido nervoso. Hoje, entretanto, sabemos que existe também uma barreira entre o liquor e o tecido nervoso, a *barreira líquor-encefálica** e outra entre o sangue e o liquor, a *barreira hemoliquórica.* Temos assim três barreiras, conforme mostra o esquema abaixo:

O termo encefálico, embora seja o mais usado, é impróprio, pois o fenômeno se refere à passagem de substâncias para o tecido nervoso. A importância fisiológica c clínica destas barreiras é muito grande, pois elas regulam a passagem para o tecido nervoso, não só de substâncias a serem utilizadas pelos neurônios, mas também de medicamentos e substâncias tóxicas.

Impedem também a passagem de neurotransmissores encontrados no sangue, como adrenalina, noradrenalina e acetilcolina. Especialmente a adrenalina é lançada em grande quantidade na circulação em certas situações emocionais e poderia alterar o funcionamento do cérebro se não fosse barrada. Portanto, essas barreiras constituem um mecanismo de proteção do encéfalo contra agentes que poderiam lesá-lo ou alterar seu funcionamento.

* *Para alguns autores não haveria qualquer impedimento à passagem de substâncias entre o líquor e o tecido nervoso, ou seja, a barreira líquor-encefálica não existiria.*

2.0 — ALGUMAS CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS BARREIRAS ENCEFÁLICAS

A seguir serão enumeradas algumas propriedades gerais das barreiras encefálicas:

a) nem sempre há impedimento completo à passagem dc uma substância nas barreiras encefálicas, mas apenas uma dificuldade maior nesta passagem;

b) o fenômeno de barreira não é geral para todas as substâncias e varia para cada barreira. Assim, uma determinada substância pode ser barrada em uma barreira e passar livremente em outra:

c) a barreira líquor-encefálica é mais fraca. dando passagem a um número maior de substâncias que as outras. Já as diferenças entre as barreiras hemoencefálicas c hemoliquórica são mais qualitativas que quantitativas;

d) de modo geral, as barreiras hemoencefálica e hemoliquórica impedem a passagem de agentes tóxicos para o cérebro. como venenos, toxinas, bilirrubina etc. Portanto, estas barreiras constituem mecanismos de proteção do encéfalo contra agentes. Sendo a barreira líquor-encefálica muito fraca. às vezes há vantagem cm se introduzir um medicamento no líquor, cm vez de no sangue, para que ele entre mais rapidamente em contato com o tecido nervoso.

3.0 — FATORES DE VARIAÇÃO DA PERMEABILIDADE DA BARREIRA HEMOENCEFÁLICA

Existem certas áreas do encéfalo onde a barreira hemoencefálica não existe, pois elas se coram quando no animal se injeta um corante vital, como o azul-de-tripan. Entre estas áreas temos o corpo pineal, a área postrema, a neuro-hipófise e os plexos corióides. São áreas de função endócrina comprovada ou discutida e parece razoável que em um órgão endócrino não exista dificuldade para a troca de substâncias entre o sangue e o tecido. Entretanto, na maior parte do sistema nervoso central existe a barreira hemoencefálica. embora a sua permeabilidade não seja a mesma cm todas as áreas. Estudou-se a penetração no encéfalo de agentes farmacológicos marcados com isótopos radioativos e verificou-se que certas áreas concentram estes agentes muito mais do que outras. Por exemplo, certas substâncias penetram facilmente no núcleo caudado e no hipocampo, mas têm dificuldade em penetrar no resto do encéfalo. Isto mostra que certos agentes farmacológieos. quando injetados no sangue, não agem em determinadas áreas do sistema nervoso porque não as atingem, podendo, entretanto, agir cm outras áreas vizinhas. Pode-se avaliar a importância deste fato na interpretação do resultado dc experiências farmacológicas.

Durante o desenvolvimento fetal c no recém-nascido, a barreira hemoencefálica é mais fraca, ou seja, deixa passar maior número dc substâncias. Isto tem sido correlacionado com o fato de que as icterícias do recém-nascido, como, por exemplo, as causadas por eritroblastose fetal, podem ser mais graves que no adulto. Com eleito, uma determinada concentração sangüínea de bilirrubina. que no adulto não atravessa a barreira hemoencefálica. no recém-nascido pode atravessá-la, passando ao tecido nervoso, sobre o qual tem uma ação tóxica. Aparece, assim, um quadro de icterícia com manifestações neurológicas que os pediatras conhecem como Kernicterus. Entretanto, o assunto é controvertido c outros fatores têm sido apontados para explicar o Kernicterus.

Vários processos patológicos, como certas infecções e traumatismos. podem levar a uma "ruptura" mais ou menos completa da barreira. Verificou-se também que a permeabilidade da barreira hemoencefálica aumenta quando ela entra em contato com soluções hipertônicas como, por exemplo, a uréia.

4.0 — LOCALIZAÇÃO ANATÔMICA DA BARREIRA HEMOENCEFÁLICA

A localização anatômica da barreira hemoencefálica tem sido objeto de inúmeras discussões. Dois elementos do sistema nervoso central foram considerados importantes para o fenômeno da barreira: o neurópilo c o capilar cerebral.

4.1 — NEURÓPILO

O termo neurópilo é usado para indicar o espaço existente no sistema nervoso central en-

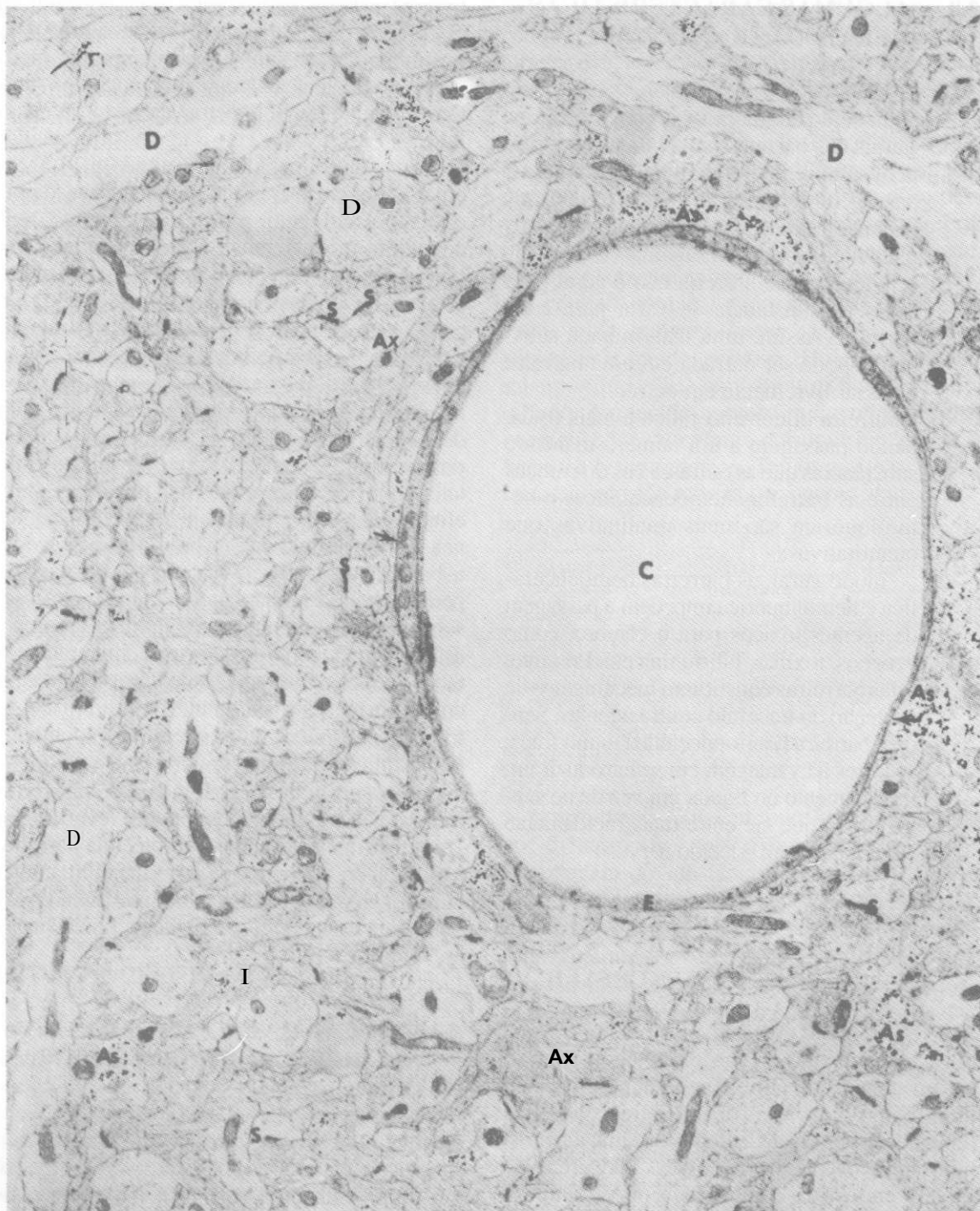



Fig. 10.7 — Eletromicrografia do córtex cerebral de um camundongo, mostrando a estrutura do neurópilo. A luz de um capilar cortado transversalmente está indicada por C. O endotélio (E) do capilar está circundado por uma lâmina basal (indicada pelas setas), em cuja adjacência terminam os pés vasculares dos astrócitos (As). O citoplasma dos astrócitos contém partículas de glicogênio. Alguns dendritos (D), axônios (Ax) e sinapses (S) podem ser identificados. Fixação por perfusão com aldeído glutárico, aumento de 16.000 vezes. (Gentileza do Dr. William Bondareff, da Northwestern University, Chicago.)

tre os vasos c os corpos dos neurônios e das células neurogliais. Nas colorações histológicas de rotina (HE) este espaço aparece com uma coloração rósea uniforme, sugerindo uma estrutura homogênea contínua. Ao microscópio eletrônico verificou-se que o neurópilo é preenchido por um emaranhado de prolongamentos dos neurônios e das células neurogliais, sendo muito pequena a distância entre o citoplasma de uma célula e outra (Fig. 10.7). Assim, o espaço intercelular no sistema nervoso central é muito pequeno c, embora ainda se discuta a existência de substância intercelular, se ela realmente existe, é em quantidade muito menor que nos tecidos que constituem os demais sistemas. E possível, pois, que substâncias provenientes dos capilares tenham dificuldade cm atravessar esta estrutura predominantemente celular, que constitui o neurópilo, o qual, segundo alguns autores, seria a base anatômica da barreira hemoencefálica.

4.2 — CAPILAR CEREBRAL

Embora não se possa excluir que a estrutura do neurópilo contribua para a explicação do fenômeno de barreira, a maioria dos autores acha que a barreira hemoencefálica está no capilar cerebral. Este é formado pelo endotélio e por uma membrana basal muito fina. Por fora, os pés vasculares dos astrócitos formam uma camada quase completa em torno do capilar (Fig. 10.7). Todos estes três elementos (endotélio, membrana basal e astrócito) já foram considerados como sede da barreira hemoencefálica. Entretanto, hoje se admite que a barreira está no endotélio e uma série de pesquisas mostra isso.

Injetou-se cm animais uma proteína, a peroxidase, que pode ser visualizada ao microscópio eletrônico. Verificou-se que, ao contrário dos capilares das demais áreas do organismo que deixam passar livremente a peroxidase, os capilares cerebrais a retém, impedindo sua passagem mesmo para o espaço entre o endotélio e a membrana basal*.

Os endotélios dos capilares cerebrais apresentam quatro características básicas que os diferenciam dos endotélios dos demais capilares e que provavelmente se relacionam com o fenômeno de barreira:

a) as células endoteliais são unidas por junções íntimas que impedem a penetração de macromoléculas. Essas junções não estão presentes nos capilares em geral;
b) não existem fenestrações (Fig. 10.7) c são raras as vesículas pinocíticas. Nos demais capilares, essas estruturas são importantes para o transporte de macromoléculas;
c) as células endoteliais não são contráteis. Ao contrário dos demais capilares, elas não possuem filamentos que, em presença de histamina, se contraem separando as células e tornando o capilar mais permeável. Assim, o cérebro fica protegido em situações em que há grande liberação de histamina na circulação, como em certos quadros alérgicos.

5.0 — LOCALIZAÇÃO ANATÔMICA DA BARREIRA HEMOLIQUÓRICA

A barreira hemoliquórica localiza-se nos plexos corióides. Seus capilares, no entanto, não participam do fenômeno. Assim, quando se injeta peroxidase em um animal, ela atravessa os capilares fenestrados dos plexos corióides, mas é barrada ao nível da superfície do epitélio ependimário voltada para a cavidade ventricular (Brighton, 196X). O epitélio ependimário que reveste os plexos corióides, ao contrário dos demais epitélios ependimários, possui junções íntimas que unem as células próximo à superfície ventricular e impedem a passagem de macromoléculas, constituindo a base anatômica da barreira hemoliquórica.

---

* *Reese, T. S. and Karnovsky, M. J. — 1967* — **Journal of Cell Biology.** *34:107-217.*

Capítulo 11

Nervos em Geral – Terminações Nervosas – Nervos Espinhais

A — NERVOS EM GERAL

1.0 — CARACTERES GERAIS E ESTRUTURA DOS NERVOS

Nervos são cordões esbranquiçados constituídos por feixes de fibras nervosas reforçadas por tecido conjuntivo, que unem o sistema nervoso central aos órgãos periféricos. Podem ser *espinhais* ou *cranianos*, conforme esta união se faça com a medula espinhal ou com o encéfalo. A função dos nervos é conduzir, através de suas fibras, impulsos nervosos do sistema nervoso central para a periferia (impulsos eferentes) e da periferia para o sistema nervoso central (impulsos aferentes). As libras nervosas que constituem os nervos são. em geral, mielínicas com neurilema. Entretanto, o nervo óptico é constituído somente por libras mielínicas sem neurilema, c no nervo olfatório as fibras são amielínicas com neurilema (fibras de Remak). Fibras deste tipo existem também no sistema nervoso autônomo c entram em pequeno número na composição da maioria dos nervos periféricos. São três as bainhas conjuntivas que entram na constituição de um nervo: epineuro, perineuro e endoneuro (Fig. 3.12A). O *epineuro* envolve todo o nervo e emite septos para seu interior. O perineuro envolve os feixes de fibras nervosas. Por sua vez, cada fibra nervosa é envolvida por uma trama delicada de tecido conjuntivo frouxo, o *endoneuro.* As bainhas conjuntivas conferem grande resistência aos nervos e, de modo geral, são mais espessas nos nervos superficiais, pois estes mais do que os profundos estão expostos aos traumatismos. Para maiores detalhes sobre a estrutura dos nervos veja o Capítulo 3, item 5.0.

Os nervos são muito vascularizados, sendo percorridos longitudinalmente por vasos que se anastomosam, o que permite a retirada do epineuro em um trecho de até 15cm sem que ocorra lesão nervosa. Por outro lado, os nervos são quase totalmente desprovidos de sensibilidade. Se um nervo é estimulado ao longo de seu trajeto, a sensação geralmente dolorosa é sentida não no ponto estimulado, mas no território sensitivo que ele inerva. Assim, quando um membro é amputado, os cotos nervosos irritados podem originar impulsos nervosos que são interpretados pelo cérebro como se fossem originados no membro retirado, resultando a chamada *dor fantasma,* pois o indivíduo sente dor cm um membro que não existe.

Durante o seu trajeto, os nervos podem se bifurcar ou se anastomosar. Nestes casos, entretanto, não há bifurcação ou anastomose de fibras nervosas, mas apenas um reagrupamento de fibras que passam a constituir dois nervos ou que se destacam de um nervo para seguir outro. Contudo, próximo à sua terminação as fibras nervosas motoras ou sensitivas de um nervo em geral ramificam-se muito.

Os nervos espinhais originam-se na medula e os cranianos no encéfalo. Costuma-se distinguir em um nervo uma origem real e uma origem aparente. A *origem real* corresponde ao local onde estão localizados os corpos dos neurônios que constituem os nervos, como, por exemplo, a coluna anterior da medula, os núcleos dos nervos cranianos ou os gânglios sen-

sitivos, no caso de nervos sensitivos. *A origem aparente* corresponde ao ponto de emergência ou entrada do nervo na superfície do sistema nervoso central. No caso dos nervos espinhais, esta origem está nos sulcos lateral anterior e lateral posterior da medula. Alguns consideram ainda uma origem aparente no esqueleto que, no caso dos nervos espinhais, está nos forames intervertebrais e, no caso dos nervos cranianos, em vários orifícios existentes na base do crânio.

2.0 — CONDUÇÃO DOS IMPULSOS NERVOSOS

Nos nervos a condução dos impulsos nervoso sensitivos (ou aferentes) se faz através dos prolongamentos periféricos dos neurônios sensitivos. Convém recordar que estes neurônios têm seu corpo localizado nos gânglios das raízes dorsais dos nervos espinhais e nos gânglios de alguns nervos cranianos. São células pseudo-unipolares, com um prolongamento periférico que se liga ao receptor e um prolongamento central que se liga a neurônios da medula ou do tronco encefálico. O prolongamento periférico é morfologicamente um axônio, mas conduz o impulso nervoso centripetamente, sendo, pois, funcionalmente um dendrito. Já o prolongamento central é um axônio no sentido morfológico e funcional, uma vez que conduz centrifugamente. Os impulsos nervosos sensitivos são conduzidos do prolongamento periférico para o central e admite-se que não passam pelo corpo celular. Os impulsos nervosos motores são conduzidos do corpo celular para o efetuador (Fig. 1.5). Contudo, pode-se estimular experimentalmente um nervo isolado que, então, funciona como um fio elétrico nos dois sentidos, dependendo apenas da extremidade estimulada. A velocidade de condução nas fibras nervosas varia de um a 120 metros por segundo e depende do calibre da fibra, sendo maior nas fibras mais calibrosas. Levando-se em conta certas características eletrofisiológicas, mas principalmente a velocidade de condução, as fibras dos nervos foram classificadas em três grupos principais: A, B, e C, que correspondem às fibras de grande, médio e pequeno calibre. As fibras A correspondem às fibras ricamente mielinizadas dos nervos mistos e podem ainda ser divididas, quanto à velocidade de condução, em alfa, beta e gama. No grupo B estão as fibras pré-ganglionares que serão vistas a propósito do sistema nervoso autônomo. No grupo C estão as fibras pós-ganglionares do sistema autônomo e possivelmente algumas fibras responsáveis por impulsos dolorosos*.

3.0 — LESÕES DOS NERVOS PERIFÉRICOS. REGENERAÇÃO DE FIBRAS NERVOSAS

Os nervos periféricos são freqüentemente traumatizados, resultando esmagamentos ou secções que trazem como conseqüência perda ou diminuição da sensibilidade e da motricidade no território inervado. Os fenômenos que ocorrem nestes casos orientam a conduta cirúrgica a ser adotada e são de grande importância para o médico. Tanto nos esmagamentos como nas secções ocorrem degenerações da parte distal do axônio e sua bainha de mielina, estendendo-se o fenômeno em direção proximal até estrangulamento de Ranvier mais próximo da lesão (degeneração Walleriana). No corpo celular há cromatólise, que atinge o máximo entre sete e 15 dias. O grau de cromatólise é inversamente proporcional a distância da lesão ao corpo celular. As alterações do corpo celular podem ser muito intensas, levando a uma desintegração do neurônio, mas, em geral, ocorre recuperação. Nestes casos as extremidades proximais das fibras lesadas crescem e emitem numerosos brotamentos que alcançam o nível da lesão e penetram no tecido cicatricial. Em casos de secção com afastamento dos dois cotos, as fibras nervosas em crescimento, não encontrando o coto distal, crescem desordenadamente no tecido cicatricial, constituindo os *neuromas* formados de tecido conjuntivo, células de Schwann e um emaranhado de fibras nervosas "perdidas". Nestes casos, para que haja recuperação funcional deve-se fazer a remoção do tecido cicatricial e o ajustamento dos cotos nervosos por sutura epineural, de modo a permitir que as fibras nervosas em regeneração penetrem no coto distal do nervo. Neste coto, após a lesão, ocorrem importantes modificações nas células de Schwann estudadas ao microscópio eletrônico

* *Como exemplo, no nervo isquiático do cão foram obtidas as seguintes velocidades de condução para as diversas categorias de fibras: A alfa = 90m/s; A beta = 50m/s; A gama = 30m/s; B = 10-20m/s; C = 03 a 1.6m/s.*

por Nathanial e Pease*. Há intensa proliferação destas células que apresentam numerosos prolongamentos citoplasmáticos envolvidos por várias lâminas basais muito pregueadas, dispostas uma dentro da outra. As células de Schwann com estas lâminas basais formam assim numerosos compartimentos ou tubos extracelulares circundados por tecido conjuntivo do endoneuro, dentro dos quais crescem distalmente as extremidades das fibras em regeneração.

Como veremos mais adiante, há evidência de que as lâminas basais ricas em uma glicoproteína, a *laminina*, são os componentes mais importantes para o crescimento dos axônios nas fibras nervosas em regeneração. Cabe assinalar que, no início do processo de regeneração, cada axônio emite numerosos ramos, o que aumenta a chance de eles encontrarem o caminho correto no coto distal. Se um axônio motor crescer em um tubo que antes continha uma fibra sensitiva, ou vice-versa, ele não estabelecerá conexão funcional. Assim, para se conseguir melhor recuperação funcional, as extremidades de um nervo seccionado devem ser ajustadas com precisão, tentando-se obter a justaposição das bainhas perineurais, o que só pode ser conseguido com o emprego de um estereomicroscópio. Embora se recomende que a sutura dos nervos lesados seja precoce, considerável êxito tem sido obtido em lesões mais antigas. As fibras nervosas da parte periférica do sistema nervoso autônomo são também dotadas de grande capacidade de regeneração. Assim, verificou-se que na doença de Chagas experimental, em cuja fase aguda há destruição quase total da inervação simpática e parassimpática do coração, ocorre, na maioria dos casos, total reinervação depois de algum tempo**.

Ao contrário do que ocorre no sistema nervoso periférico, as fibras nervosas do sistema nervoso central dos mamíferos não se regeneram quando lesadas, o que dificulta consideravelmente a recuperação funcional de muitos casos neurológicos. Entretanto, verificou-se que, quando se enxerta um pedaço de nervo periférico na medula de um animal, os axônios seccionados da medula crescem por uma das extremidades do nervo enxertado, mas param de crescer quando atingem a outra extremidade e entram em contato com o tecido do sistema nervoso central.

Essa experiência mostra que a incapacidade de regeneração das fibras do sistema nervoso central se deve não a uma incapacidade de crescimento dos axônios mas à inexistência no sistema nervoso central de um substrato adequado que permita esse crescimento. Sabe-se que nos nervos periféricos esse substrato "permissivo" é provido de lâminas basais ricas em substâncias que promovem a adesão dos axônios em crescimento, dentre os quais se destaca a laminina. Como as lâminas basais e a laminina são sintetizadas pelas células de Schwann, ausentes nas fibras do sistema nervoso central (onde são substituídas por oligodendrócitos), entende-se por que essas libras não se regeneram. Entretanto, o problema é mais complicado pois, recentemente, descobriu-se nos oligodendrócitos — células que substituem as células de Schwann no sistema nervoso central — substâncias que inibem o crescimento dos axônios***.

B — TERMINAÇÕES NERVOSAS

1.0 — GENERALIDADES

Em suas extremidades periféricas, as fibras nervosas dos nervos modificam-se dando origem a formações ora mais, ora menos complexas, as *terminações nervosas,* que podem ser de dois tipos: sensitivas ou aferentes**** (receptores) e motoras ou eferentes. As terminações sensitivas, quando estimuladas por uma forma adequada de energia (calor, luz etc.), dão origem a um impulso nervoso que segue pela fibra em cuja extremidade elas estão localizadas. Este impulso é levado ao sistema nervoso central e, depois dc um trajeto ora mais, ora menos complicado, atinge áreas específicas do

* *Nathanial, E.J.H. and Pease, D.C. — 1963 —* Journal of Ultrastructure Research, *9:533-549.*

** *Machado, A.B.M.; Machado, C.R.S. & Gomez, M.V. — 1979* — Experimental Parasitology, *47:107-115.*

*** *Para uma discussão mais aprofundada desse assunto, veja Barnes, D.M. — 1985* — Science, *230: 1024-1025 e Schwab, M.E. — 1990 — Trends in Neurosciences, 13(11):452-456.*

**** *Os termos 'sensitivo' e 'aferente', a rigor, não são sinônimos. Todos os impulsos nervosos que penetram no sistema nervoso central são aferentes, mas apenas aqueles que despertam alguma forma de sensação são sensitivos. Muitos impulsos provenientes de receptores viscerais (como, por exemplo, os originados no seio carotídeo) são aferentes, mas, a rigor, não são sensitivos.*

cérebro, onde é 'interpretado', resultando diferentes formas de sensibilidade. As terminações nervosas motoras existem na porção terminal das fibras aferentes e são os elementos de ligação entre estas fibras e os órgãos efetuadores: músculo ou glândula.

2.0 — TERMINAÇÕES NERVOSAS SENSITIVAS (RECEPTORES)

A classificação dos receptores, particularmente a correspondência dos vários receptores com as diferentes modalidades de sensibilidade, é assunto bastante controvertido. Com finalidade didática, fugiremos um pouco das controvérsias, dando ênfase à conceituação atualmente mais aceita.

2.1 — CLASSIFICAÇÃO MORFOLÓGICA DOS RECEPTORES

Distinguem-se dois grandes grupos: os receptores especiais e os receptores gerais.

Os *receptores especiais* são mais complexos, relacionando-se com um *neuroepitélio*(retina, órgão de Corti etc.), e fazem parte dos chamados *órgãos especiais do sentido:* os órgãos da visão, audição e equilíbrio, gustação e olfação, todos localizados na cabeça.

Os *receptores gerais* ocorrem em todo o corpo, havendo maior concentração na pele. Em sua maioria, apresentam uma estrutura mais simples que a dos receptores especiais, podendo, do ponto de vista morfológico, ser classificados cm dois tipos: *livres* e *encapsulados,* conforme tenham ou não uma cápsula conjuntiva.

2.1.1 — Receptores Livres (Fig. 11.1A)

Os receptores gerais livres são, sem dúvida, os mais freqüentes. Ocorrem, por exemplo, em toda a pele, emergindo de redes nervosas subepiteliais e ramificando-se entre as células da epiderme. Ao se transformarem em terminações livres, as fibras nervosas perdem sua bainha de mielina, mantendo seu envoltório de células de Schwann até as proximidades da ponta do axônio. Algumas terminações livres relacionadas com o tato enrolam-se na base dos folículos pilosos ou terminam em contato com células epiteliais especiais, constituindo os *discos de Merkel.* Além das funções de tato, as terminações livres são também responsáveis pela sensibilidade térmica e dolorosa.

2.1.2 — Receptores Encapsulados

Esses receptores são em geral mais complexos que os livres e, na maioria deles, há intensa ramificação da extremidade do axônio no interior de uma cápsula conjuntiva. Estão compreendidos aqui os corpúsculos sensitivos da pele descritos na histologia clássica, além dos fusos neuromusculares e neurotendíneos. Para uma descrição mais detalhada da morfologia dessas terminações, devem ser consultados os textos de histologia. A seguir faremos uma rápida caracterização das terminações nervosas encapsuladas mais importantes para a neuroanatomia funcional:

a) *corpúsculos de Meissner* (Fig. 11.1B) — ocorrem nas papilas dérmicas, principalmente nas da pele espessa das mãos e dos pés. São receptores de tato e pressão;
b) *corpúsculos de Ruffini* (Fig. 11.1D) — ocorrem nas papilas dérmicas tanto da pele espessa das mãos e dos pés como na pele pilosa do restante do corpo. Durante muito tempo acreditou-se que seriam sensíveis ao calor. Sabe-se hoje que são receptores de tato e pressão;
c) *corpúsculos de Vater-Paccini* (Fig. 11.1C) — têm distribuição muito ampla, ocorrendo principalmente no tecido celular subcutâneo das mãos e dos pés ou mesmo em territórios mais profundos, como nos septos intermusculares e no periósteo. Durante muito tempo acreditou-se que os corpúsculos de Paccini seriam receptores relacionados com a percepção de pressão. Sabe-se hoje que são responsáveis pela sensibilidade vibratória, ou seja, a capacidade de perceber estímulos mecânicos rápidos e repetitivos;
d) *fusos neuromusculares* (Fig. 11.2) — são pequenas estruturas em forma de fuso situadas nos ventres dos músculos estriados esqueléticos, dispondo-se paralelamente com as fibras destes músculos (*fibras extrafusais).* Cada fuso é constituído de uma cápsula conjuntiva que envolve de duas a dez pequenas fibras estriadas denominadas *fibras intrafusais.*

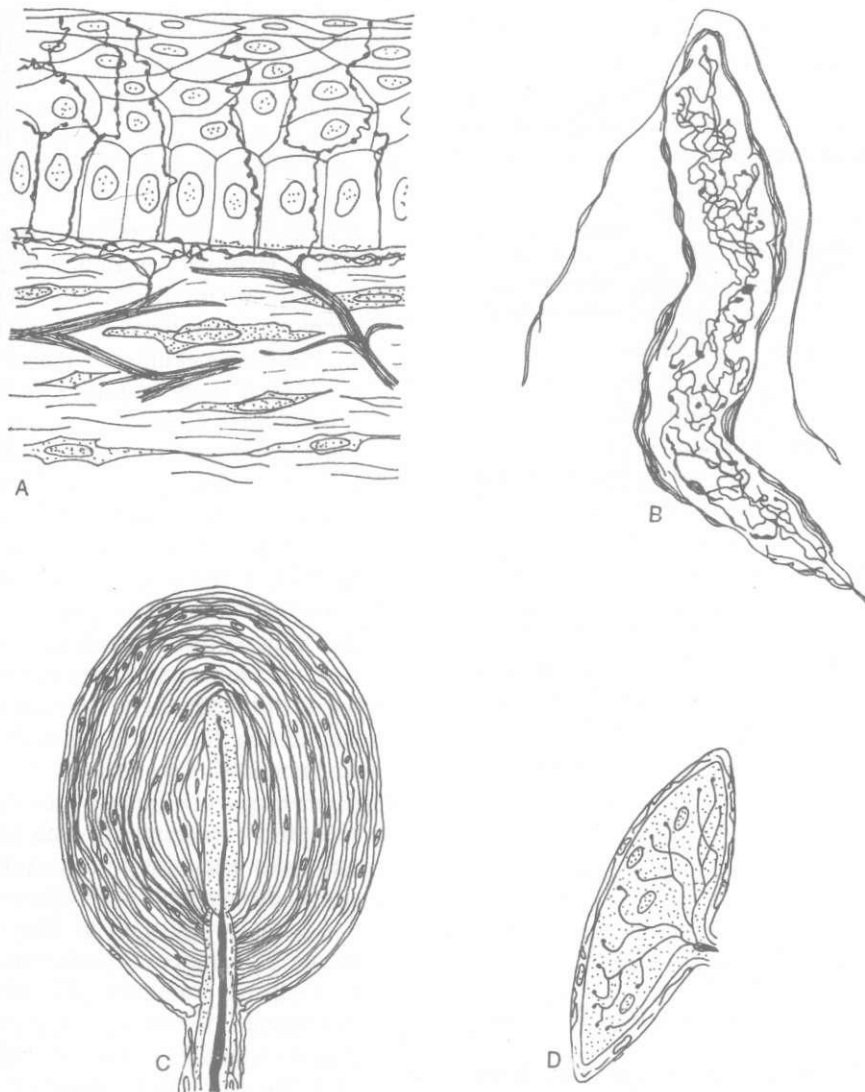



Fig. 11.1 — *Desenhos esquemáticos de alguns receptores livres e encapsulados. A — terminações nervosas livres na pele; B — corpúsculo de Meissner; C — corpúsculo de Vater-Paccini; D — corpúsculo de Ruffini.*

Cada uma dessas fibras possui uma *região equatorial* não contrátil, contendo vários núcleos e duas *regiões polares* dotadas dc miofibrilas, portanto contráteis. O fuso neuromuscular recebe fibras nervosas sensitivas que se enrolam cm torno da região equatorial das fibras intrafusais, constituindo as chamadas *terminações anuloespirais**. As fibras intrafusais estão ligadas à cápsula do fuso, que, por sua vez, se liga direta ou indiretamente ao tendão do músculo. Isso significa que a tensão c o comprimento das fibras intrafusais aumentam quando o músculo é tracionado, por exemplo, por ação da gravidade, e diminuem quando o músculo se contrai. O estiramento e alongamento das fibras intrafusais causam deformações mecânicas das terminações anuloespirais que são ativadas. Originam-se assim impulsos nervosos que penetram na medula através de fibras aferentes e terminam fazendo sinapse diretamente com os gran-

*Conforme a disposição dos núcleos na região equatorial, as fibras intrafusais podem ser dc dois tipos: de cadeia nuclear ou dc saco nuclear (Fig. 11.2). As terminações anuloespirais são também denominadas terminações primárias; há também terminações secundárias ou cm inflorescência.

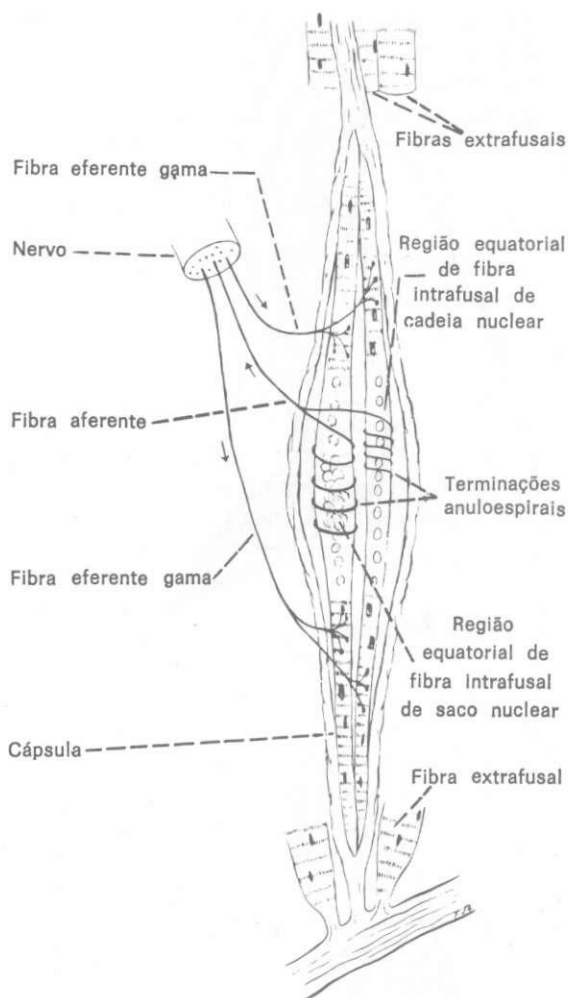



Fig. 11.2 — *Esquema de um fuso neuromuscular.*

des neurônios motores situados na coluna anterior da medula (*motoneurônios alfa*) (Fig. 1.5). Os axônios desses neurônios trazem os impulsos nervosos de volta ao músculo, terminando em placas motoras situadas nas fibras extrafusais que se contraem. Esse mecanismo constitui o *reflexo miotático*, ou de estiramento, muito importante para a manutenção reflexa do tônus muscular. Reflexos desse tipo ocorrem continuamente em todos os músculos especialmente nítidos nos extensores. O reflexo miotático pode ser desencadeado artificialmente, provocando-se o estiramento de um músculo esquelético por percussão de seu tendão. Isso ocorre, por exemplo, no reflexo patelar (Fig. 1.5), descrito no Capítulo 1. Os fusos neuromusculares têm também uma inervação motora representada pelas chamadas *fibras eferentes gama,* que se originam em pequenos neurônios motores, situados na coluna anterior da medula (*motoneurônios gama).* As fibras gama inervam as duas regiões polares das fibras intrafusais e causam sua contração, o que aumenta a tensão da região equatorial, onde se enrolam as terminações anuloespirais. O fuso torna-se assim mais sensível ao estiramento causado pela contração do músculo. Por esse mecanismo, o sistema nervoso central pode regular a sensibilidade dos fusos neuromusculares, o que é importante para a regulação do tônus muscular. Por outro lado, se não houvesse um mecanismo ativo de contração das fibras intrafusais, elas perderiam sua tensão e o fuso seria desativado logo no início da contração do músculo. Assim, a ativação dos motoneurônios gama permite que os fusos neuromusculares continuem a mandar informações ao sistema nervoso central durante todo o processo de contração do músculo;

e) *órgãos neurotendinosos* (de Golgi) — são receptores encontrados na junção dos músculos estriados com seu tendão. Consistem de fascículos tendinosos cm torno dos quais se enrolam as fibras nervosas aferentes, sendo o conjunto envolvido por uma cápsula conjuntiva. São ativados pelo estiramento do tendão, o que ocorre tanto quando há tração passiva do músculo, por exemplo, por ação da gravidade, como nos casos em que o músculo se contrai. Nisso eles diferem dos fusos neuromusculares, que tendem a ser desativados durante a contração muscular. Outra diferença é que os órgãos neurotendinosos são desprovidos de inervação gama. Os órgãos neurotendinosos informam o sistema nervoso central da tensão exercida pelos músculos em suas inserções tendinosas no osso e permitem assim uma avaliação da força muscular que está sendo exercida

2.2 — CLASSIFICAÇÃO FISIOLÓGICA DOS RECEPTORES

Durante muito tempo discutiu-se se um mesmo receptor poderia ser ativado por vários es-

tímulos ou se cada receptor seria ativado por um estímulo específico. Graças sobretudo a pesquisas neurofisiológicas envolvendo a tomada de potenciais bioelétricos em fibras nervosas isoladas, a especificidade dos receptores é hoje geralmente aceita. Aparentemente isso está em contradição com o fato de os receptores livres serem responsáveis por vários tipos de sensibilidade (temperatura, dor, tato). Na verdade, um determinado receptor livre é responsável apenas por uma dessas formas de sensibilidade. Assim, sob a denominação de receptores livres, existem de fato, do ponto de vista fisiológico, vários receptores que não foram ainda caracterizados morfologicamente, mas que, é muito provável, apresentam diferenças bioquímicas. Cabe assinalar que o mecanismo íntimo envolvido na transformação de estímulos físicos em atividade bioelétrica nos receptores ainda é pouco conhecido. Usando-se como critério os estímulos mais adequados para ativar os vários receptores, estes podem ser classificados como:

a) *quimiorreceptores* — são receptores sensíveis a estímulos químicos, como os da olfação e gustação; os receptores do corpo carotídeo são capazes de detectar variações no teor do oxigênio circulante;
b) *osmorreceptores* — receptores capazes de detectar variação de pressão osmótica;
c) *fotorreceptores* — receptores sensíveis à luz, como os cones e bastonetes da retina;
d) *termorreceptores* — receptores capazes de detectar frio e calor. São terminações nervosas livres;
e) *nociceptores* (do latim *nocere* = prejudicar) — são receptores ativados em situações em que há lesões de tecido, causando dor. São terminações nervosas livres;
f) *mecanorreceptores* — são receptores sensíveis a estímulos mecânicos e constituem o grupo mais diversificado. Aqui situam-se os receptores de audição e de equilíbrio do ouvido interno, os receptores do seio carotídeo, sensíveis às mudanças na pressão arterial (barorreceptores), os fusos neuromusculares e órgãos neurotendinosos, sensíveis ao estiramento de músculos e tendões, assim como os vários receptores cutâneos responsáveis pela sensibilidade de tato, pressão e vibração.

Outra maneira de classificar os receptores, proposta inicialmente por Sherrington, leva em conta a sua localização, o que define a natureza do estímulo que os ativa. Com base nesse critério, distinguem-se três categorias de receptores: *exteroceptores, proprioceptores* e *interoceptores*.

Os *exteroceptores* localizam-se na superfície externa do corpo, onde são ativados por agentes externos como calor, frio, tato, pressão, luz e som.

Os *proprioceptores* localizam-se mais profundamente, situando-se nos músculos, tendões, ligamentos e cápsulas articulares. Os impulsos nervosos originados nesses receptores, *impulsos nervosos proprioceptivos,* podem ser conscientes e inconscientes. Esses últimos não despertam nenhuma sensação, sendo utilizados pelo sistema nervoso central para regular a atividade muscular através do reflexo miotático ou dos vários centros envolvidos na atividade motora, em especial o cerebelo. Os impulsos proprioceptivos conscientes atingem o córtex cerebral e permitem a um indivíduo, mesmo de olhos fechados, ter percepção de seu corpo e de suas partes, bem como da atividade muscular e do movimento das articulações. São. pois, responsáveis pelo sentido de posição c de movimento.

O conceito clássico de que a propriocepção consciente dependeria da atividade dos fusos neuromusculares e órgãos neurotendíneos foi questionado até pouco tempo. Essa função era atribuída aos receptores existentes nas articulações que seriam responsáveis principalmente pelo sentido de movimento *(cinestesia)*. Entretanto, estudos realizados em pacientes nos quais a articulação coxofemoral foi totalmente substituída por uma prótese, não existindo portanto receptores articulares, mostraram que esses pacientes praticamente mantêm inalterada sua percepção cinestésica.

Assim, admite-se hoje que a capacidade de perceber posição e movimento, ou seja, a propriocepção consciente, depende basicamente das informações trazidas ao sistema nervoso central pelos fusos neuromusculares e órgãos neurotendinosos, sendo possível, entretanto, que os receptores das articulações tenham pelo menos um papel subsidiário nessa função.

Os *interoceptores* (ou *visceroceptores*) localizam-se nas vísceras e nos vasos e dão origem às diversas formas de sensações viscerais, geralmente pouco localizadas, como a fome, a

sede, o prazer sexual ou a dor visceral. Grande parte dos impulsos aferentes originados cm interoceptorcs são inconscientes, transmitindo ao sistema nervoso central informações necessárias à coordenação da atividade visceral, tais como o teor de O_2, a pressão osmótica do sangue e a pressão arterial. Tanto os exteroceptores como os proprioceptores transmitem impulsos relacionados ao 'soma', ou parede corporal, sendo, pois, considerados receptores *somáticos*. Os interoceptores transmitem impulsos relacionados as vísceras e são, por conseguinte, *viscerais*. Pode-se ainda dividir a sensibilidade em *superficial* e *profunda*, a primeira originando-sc em exteroceptores e a segunda em proprioceptores e interoceptores.

Fig. 11.3 — *Fotomicrografia* ***de placas*** *motoras* ***(setas). Impregnação*** *metálica* ***pelo método dc*** *cloreto* *de* ***ouro dc*** *Ranvier.*

3.0 — TERMINAÇÕES NERVOSAS MOTORAS

As terminações nervosas motoras ou *junções neuroefetuadoras* são menos variadas que as sensitivas e sobre elas não há tantas controvérsias. Funcionalmente elas se assemelham às sinapses entre os neurônios e, na realidade, o termo sinapse no sentido mais amplo também se lhes aplica. As terminações nervosas motoras podem ser *somáticas* ou *viscerais*. As primeiras terminam nos músculos estriados esqueléticos, as segundas nas glândulas, músculo liso ou músculo cardíaco, pertencendo pois ao sistema nervoso autônomo.

3.1 — TERMINAÇÕES EFERENTES SOMÁTICAS

As fibras nervosas eferentes somáticas relacionam-se com as fibras musculares estriadas esqueléticas através dc estruturas especializadas denominadas *placas motoras* (Fig. 11.3). Ao aproximar-se da fibra muscular, a fibra nervosa perde sua bainha de mielina, conservando, entretanto, o neurilema (Fig. 3.1). Na placa motora, a terminação axônica emite finos ramos contendo pequenas dilatações, os *botões sinápticos* (Fig. 3.1), de onde é liberado o neurotransmissor.

A ultra-estrutura da placa motora ao nível de um desses botões é bastante semelhante à da sinapse interneuronal descrita no Capítulo 3 (item 2.2.2). O elemento pré-sináptico, formado pela terminação axônica, apresenta-se rico em vesículas sinápticas agranulares que se acumulam próximo a *barras densas*, constituindo zonas ativas onde é liberado o neurotransmissor. a acetileolina (Fig. 11.4). O elemento pós-sináptico é constituído pelo sarcolema da libra muscular, que mantém sua membrana basal e tem sua área consideravelmente aumentada pela presença de pregueamento característico (as *pregas juncionais*). As cristas dessas pregas apresentam *densidades pós-sinápticas*. O neurotransmissor acetileolina liberado na *fenda sináptica* causa despolarização do sarcolema. o que desencadeia a contração da fibra muscular. O excesso de acetileolina liberado é inativado pela acetilcolinesterase presente em grande quantidade na placa.

3.2 — TERMINAÇÕES EFERENTES VISCERAIS

Nas terminações nervosas viscerais dos mamíferos o mediador químico pode ser a acetileolina ou a noradrenalina. Assim, as libras nervosas eferentes somáticas são colinérgicas, enquanto as viscerais podem ser colinérgicas ou *adrenérgicas*.

As terminações eferentes viscerais apresentam mais dificuldades para estudo c são menos conhecidas que as somáticas. Entretanto, pesquisas de microscopia eletrônica e histoquímica têm esclarecido muitos aspectos de sua estrutura c função. Especialmente valioso foi o desenvolvimento de técnicas histoquímicas para

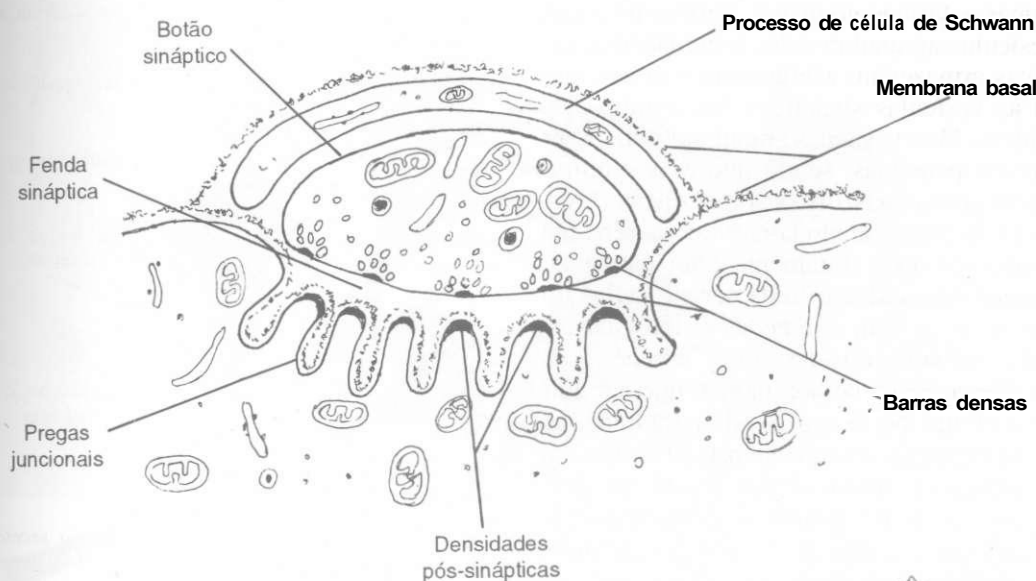



Fig. 11.4 — Desenho esquemático de uma secção de placa motora passando por um botão sináptico.

catecolaminas (noradrenalina, adrenalina, dopamina), que permitem visualizar os terminais adrenérgicos ao microscópio de fluorescência (Fig. 11.5). Verificou-se que nas terminações nervosas viscerais não existem, como nas somáticas, formações elaboradas como as placas motoras. Os neurotransmissores são liberados em um trecho bastante longo da parte terminal

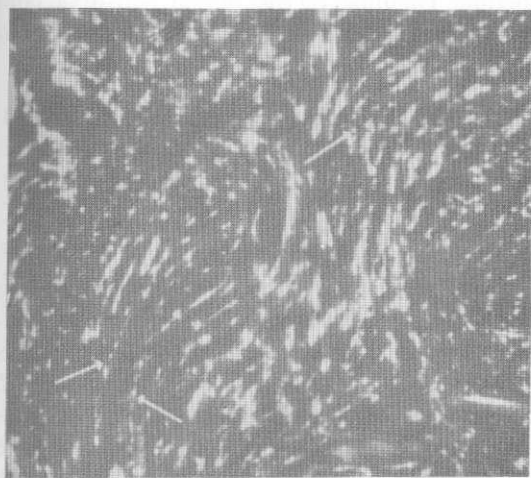



Fig. 11.5 — *Fotomicrografia de fibras nervosas adrenérgicas do canal deferente, tornadas fluorescentes, em virtude de seu conteúdo cm noradrenalina. O espaço escuro entre as fibras é ocupado por fibras musculares lisas. As setas indicam terminações adrenérgicas com varicosidades. (Método dc Falck para histoquímica de monoaminas.)*

das fibras (Fig. 3.7) e não apenas em sua extremidade, podendo a mesma fibra estabelecer contato com um grande número de fibras musculares ou células glandulares. As fibras terminais apresentam-se cheias de pequenas dilatações ou *varicosidades* (Figs. 11.5 e 3.7), ricas em vesículas contendo neurotransmissores, e constituem as áreas funcionalmente ativas das fibras. A distância entre a varicosidade e o efetuador (fibra muscular ou célula glandular), ou seja, a distância percorrida pelo neurotransmissor para que ele possa agir sobre o efetuador, varia de 20nm (musculatura do canal deferente) a 3.000nm (musculatura intestinal). Em alguns casos, a libra nervosa relaciona-se muito intimamente com o efetuador (Fig. 24.2) e, de modo geral, não existem modificações na membrana ou citoplasma do efetuador próximo à zona de contato, como ocorre na placa motora ou nas sinapses interneuronais.

Nas terminações nervosas eferentes viscerais, o microscópio eletrônico revelou dois tipos de vesículas sinápticas: granulares e agranulares. As *vesículas sinápticas granulares* apresentam um grânulo no seu interior (Figs. 3.7 e 11.6), enquanto as *vesículas sinápticas agranulares* têm conteúdo claro (Figs. 13.3). Essas vesículas têm sido objeto de um grande número de pesquisas com técnicas morfológicas, bio-

químicas c farmacológicas*. Verificou-se que as vesículas agranulares das terminações colinérgicas armazenam acetilcolina e se assemelham às vesículas sinápticas das terminações somáticas. Já as vesículas granulares podem ser grandes e pequenas, sendo que estas últimas ocorrem apenas nas fibras adrenérgicas (Figs. 3.7 e 13.3). Seu grânulo contém noradrenalina e desaparece após tratamento com reserpina, droga que causa liberação da noradrenalina do tecido nervoso. Em condições fisiológicas, o impulso nervoso dos terminais adrenérgicos causa liberação de noradrenalina, que vai agir sobre o efetuador. O excesso de noradrenalina liberado é captado novamente pela fibra nervosa e é armazenado nas vesículas granulares. Isso explica o fato de que, quando se destrói a inervação adrenérgica de um órgão (como, por exemplo, nas simpatectomias), ele se torna muito mais sensível à ação da noradrenalina injetada. Nesse caso, como foi destruído o mecanismo de captação e inativação dessa amina, ela permanece muito tempo em contato com os efetuadores.

Fig. 11.6 — *Eletromicrografia de um axônio seccionado transversalmente c aumentado 320.000 vezes. Nota-se uma vesícula granular (VG), um microtúbulo (seta) e uma partícula de glicogênio (G). A vesícula é envolvida por uma membrana unitária c contém um grânulo denso. (Reproduzido dc Machado, 1967 — Stain Technology. 42:293-3000.)*

C — NERVOS ESPINHAIS

1.0 — GENERALIDADES

Nervos espinhais são aqueles que fazem conexão com a medula espinhal e são responsáveis pela inervação do tronco, dos membros e partes da cabeça. São em número de 31** pares, que correspondem aos 31 segmentos medulares existentes. São, pois, oito pares de nervos cervicais. 12 torácicos, cinco lombares, cinco sacrais, um coccígeo. Cada nervo espinhal é formado pela união das raízes dorsal e ventral, as quais se ligam, respectivamente, aos sulcos lateral posterior c lateral anterior da medula através de filamentos radiculares (Fig. 11.7). Na raiz dorsal localiza-se o *gânglio espinhal*, onde estão os corpos dos neurônios sensitivos pseudo-unipolares, cujos prolongamentos central e periférico formam a raiz. A raiz ventral é formada por axônios que se originam em neurônios situados nas colunas anterior e lateral da medula. Da união da raiz dorsal, sensitiva, com a raiz ventral, motora, forma-se o *tronco do nervo espinhal*, que funcionalmente é misto.

2.0 — COMPONENTES FUNCIONAIS DAS FIBRAS DOS NERVOS ESPINHAIS

A classificação funcional das fibras que constituem os nervos está intimamente relacionada à classificação das terminações nervosas estudada neste capítulo. Fibras que se ligam perifericamente a terminações nervosas aferentes conduzem os impulsos centripetamente e são *aferentes*. As que se originam em interoceptores são viscerais, as que se originam em proprioceptores ou exteroceptores. são somáticas. As fibras originadas em exteroceptores, ou *fibras exteroceptivas*, conduzem impulsos originados na superfície, relacionados com tempera-

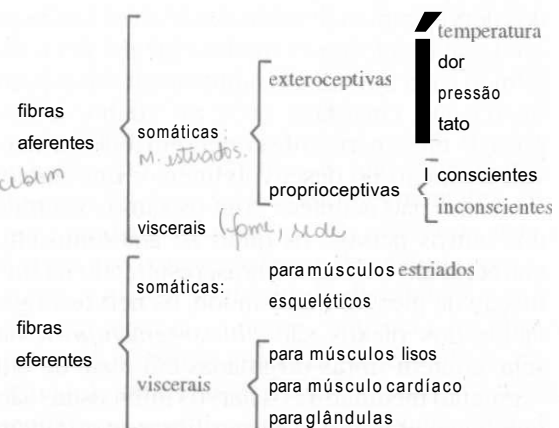
* *As vesículas granulares constituem material favorável para tais estudos pela presença do grânulo que funciona como um marcador do caráter sináptico da vesícula. Assim, estudando essas vesículas cm fibras adrenérgicas durante o seu desenvolvimento, Machado (1971,* Progress in Brain Research, *34:171-185) demonstrou pela primeira vez que vesículas sinápticas podem se formar nos próprios axônios a partir do retículo endoplasmático liso. Até então acreditava-se que essas vesículas se formavam apenas no pericário, a partir do aparelho de Golgi, migrando para os terminais nervosos por fluxo axoplasmático.*

** *Na realidade são 33 se forem considerados os dois pares de nervos coccígeos vestigiais que, às vezes, existem justapostos ao filamento terminal da medula c que, entretanto, não têm nenhuma significação funcional.*

Raiz dorsal
Gânglio espinhal
Tronco simpático
Ramo dorsal do n. espinhal
Ramo ventral do n. espinhal
Ramos comunicantes
Raiz ventral
Tronco do n. espinhal
Gânglio do simpático
Coluna posterior
Coluna lateral
Coluna anterior
Filamentos radiculares

Fig. 11.7 — *Esquema da formação dos nervos espinhais mostrando também o tronco simpático.*

tura, dor, pressão e tato. Como foi visto no item 2.2, as *fibras proprioceptivas* podem ser *conscientes* ou *inconscientes.* Fibras que se ligam perifericamente a terminações nervosas eferentes conduzem os impulsos nervosos centrifugamente e são, por coaseguinte, *eferentes,* podendo ser somáticos ou viscerais. As fibras eferentes somáticas dos nervos espinhais terminam em músculos estriados esqueléticos; as viscerais, em músculos liso, cardíaco ou glândula, integrando, como será visto mais adiante, o sistema nervoso autônomo.

A chave seguinte sintetiza o que foi exposto sobre os componentes funcionais das fibras dos nervos espinhais:

Convém acentuar que esta classificação é válida apenas para os nervos espinhais, pois os nervos cranianos são mais complicados e apresentam os componentes "especiais" que serão estudados no capítulo seguinte.

Do que foi visto, verifica-se que, do ponto dc vista funcional, os nervos espinhais são muito heterogêneos. E num mesmo nervo em um determinado momento podem existir fibras situadas lado a lado, conduzindo impulsos nervosos dc direções diferentes para estruturas diferentes, enquanto outras fibras podem estar inativas. Isto é possível pelo fato dc as fibras nervosas que constituem os nervos serem "isoladas" umas das outras e, portanto, de funcionamento independente. A situação é comparável a um cabo telefônico com centenas de fios independentes, cada um ligando um telefone a uma parte específica do centro.

3.0 — TRAJETO DOS NERVOS ESPINHAIS

O tronco do nervo espinhal sai do canal vertebral pelo forame intervertebral e logo se divide em um ***ramo dorsal*** c um ***ramo ventral*** (Fig. 11.7), ambos mistos. Com exceção dos três primeiros nervos cervicais, os ramos dorsais dos nervos espinhais são menores que os ventrais correspondentes. Eles se distribuem aos músculos c à pele da região dorsal do tronco, da nuca e da região occipital. Os ramos ventrais representam, praticamente, a continuação do tronco do nervo espinhal. Eles se distribuem pela musculatura, pele, ossos e vasos dos membros, bem como pela região ântero-lateral do pescoço c do tronco. Os ramos ventrais dos nervos espinhais torácicos (*nervos intercostais*) têm trajeto aproximadamente paralelo, seguindo cada um individualmente no seu espaço intercostal. Guardam, pois, no adulto, a disposição metamérica observada cm todos os nervos no início do desenvolvimento. Entretanto, o mesmo não acontece com os ramos ventrais dos outros nervos, os quais se anastomosam, entrecruzam e trocam fibras, resultando na formação de plexos. Deste modo, os nervos originados dos plexos são *plurissegmentares*, ou seja, contêm fibras originadas em mais dc um segmento medular. Já os nervos intercostais são *unissegmentares*, isto é, suas fibras se originam de um só segmento medular. O estudo da formação dos plexos, bem como dc seus ramos colaterais e terminais, é muito importante na prática médica e deverá ser feito no estudo da anatomia geral. Como exemplo, apresentamos um esquema do plexo braquial (Fig. 11.8), no qual se representou a composição radicular do nervo mediano, visando objetivar o conceito dc nervo plurissegmentar, cm contraste com o de nervo unissegmentar, representado na figura pelo segundo nervo intercostal.

Dc um modo geral, os nervos alcançam o seu destino pelo caminho mais curto. Entretanto, existem exceções explicadas por fatores embriológicos. Uma delas é o nervo laríngeo recorrente, que contorna a artéria subclávia, à direita, ou o arco aórtico, à esquerda, antes de atingir o seu destino nos músculos da laringe.

O trajeto de um nervo pode ser superficial ou profundo. Os primeiros são predominantemente sensitivos, e os segundos predominantemente motores. Entretanto, mesmo quando penetra em um músculo, o nervo não é puramente motor, pois apresenta sempre fibras aferentes que veiculam impulsos proprioceptivos originados nos fusos neuromusculares. Do mesmo modo, os nervos cutâneos não são puramente sensitivos, pois apresentam libras eferentes viscerais (do sistema autônomo) para as glândulas sudoríparas, músculos eretores dos pêlos e vasos superficiais.

4.0 — TERRITÓRIOS CUTÂNEOS DF INERVAÇÃO RADICULAR. DERMÁTOMO

Denomina-se dermátomo o território cutâneo inervado por fibras de uma única raiz dorsal. O dermátomo recebe o nome da raiz que o inerva*. Assim, temos os dermátomos C3, T5, L4 etc. O estudo da topografia dos dermátomos é muito importante para a localização dc lesões radiculares ou medulares c, para isso, existem mapas em que eles são representados nas diversas panes do corpo (Figs. 11.9 e 11.10).

Vários métodos foram utilizados para a elaboração desses mapas, a maioria deles envol-

---

* *Estudos experimentais com técnicas eletrofisiológicas evidenciaram que, dentro do dermátomo dc uma determinada raiz, existem territórios individualizados para cada filamento radicular que constitui a raiz* (*Oswaldo Cruz, E.; Pagani, R. e Rocha-Miranda, C.E. — 1965* — Anais da Academia Brasileira de Ciências, *37: 237-244*).

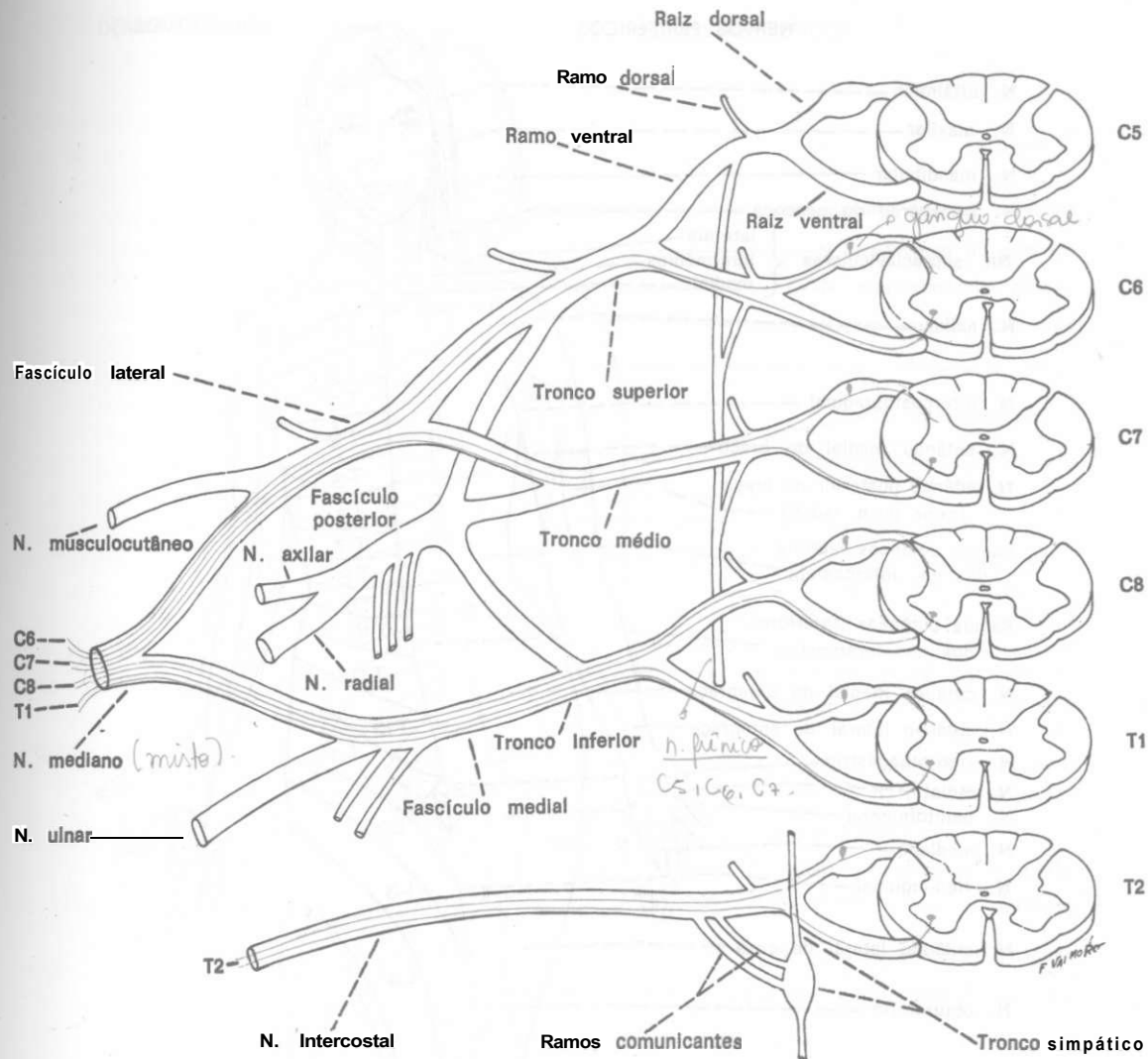



Fig. 11.8 — *Esquema da formação do plexo braquial, indicando-se a composição radicular do nervo mediano (exemplo de nervo plurissegmentar) e do segundo nervo intercostal (exemplo de nervo unissegmentar).*

vendo o estudo da repercussão sobre a sensibilidade cutânea de lesões e afecções que acometem as raízes dorsais. Assim, por exemplo, no caso do herpes zoster, doença conhecida vulgarmente como cobreiro, o vírus acomete especificamente as raízes dorsais, causando o aparecimento de dores e pequenas vesículas em uma área cutânea que corresponde ao dermátomo da raiz envolvida. No embrião, os dermátomos se sucedem na mesma seqüência das raízes espinhais, em faixas aproximadamente paralelas, disposição essa que, após o nascimento, se mantém apenas no tronco. Nos membros, em virtude do grande crescimento dos brotos apendiculares durante o desenvolvimento, a disposição dos dermátomos se torna irregular, havendo aposição de dermátomos situados em segmentos distantes, como C5 e T1, na parte proximal do braço (Fig. 11.8). A Fig. 11.11 mostra o limite entre os dermátomos cervicais, toráeicos, lombares e sacrais em posição quadrúpede.

As fibras radiculares podem chegar aos dermátomos através de nervos unissegmentares, como os intercostais, ou plurissegmentares, como o mediano, o ulnar etc. No primeiro caso, a cada nervo corresponde um dermátomo que se localiza no seu território de distribuição cutânea. No segundo, o nervo contribui com libras para vários dermátomos, pois recebe fibras sensitivas de várias raízes. Assim, o nervo mediano tem fibras sensitivas que contribuem para os dermátomos C6, C7 e C8 (Figs. 11.9 e 11.10).

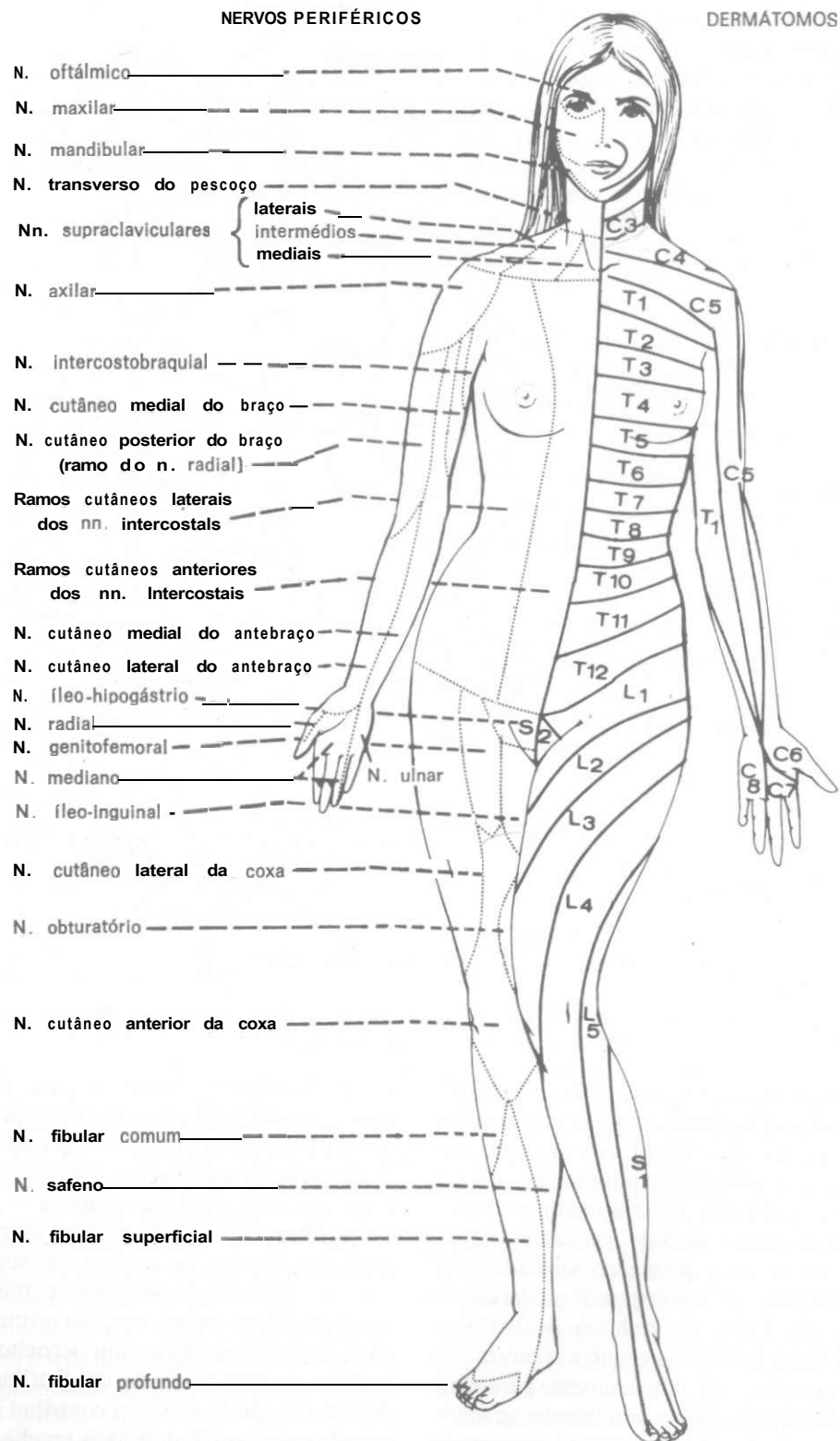



Fig. 11.9 — *Comparação entre os dermátomos e os territórios de inervação dos nervos cutâneos na superfície ventral. (Reproduzido com permissão, de Curtis, Jacobson and Marcus — 1972 —* An Introduction to Neurosciences, *W. B. Saunders Co., Philadelphia.)*

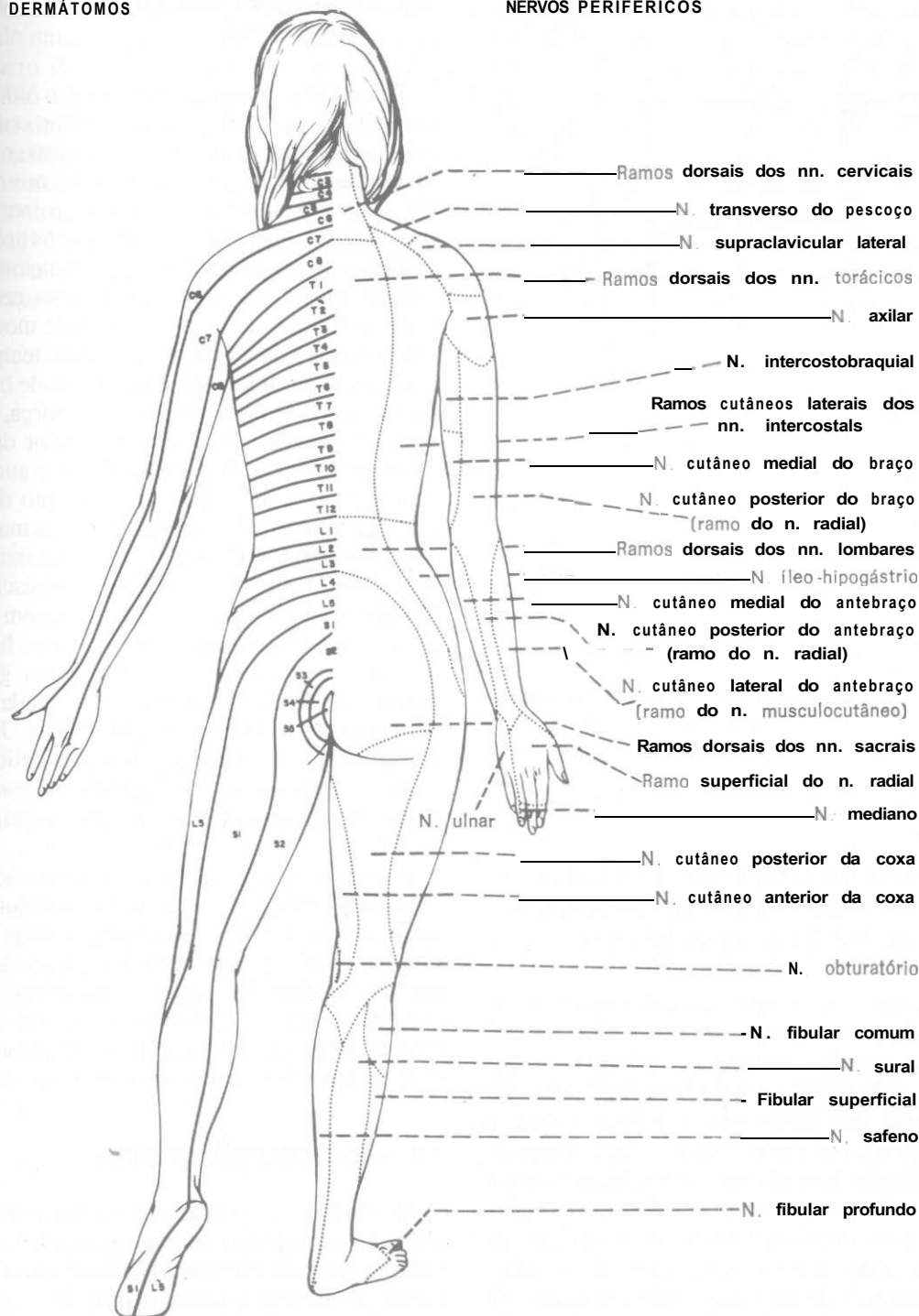



Fig. 11.10 — Comparação entre os dermátomos e os territórios de inervação dos nervos cutâneos na superfície dorsal. (Reproduzido, com permissão, de Curtis, Jacobson and Marcus — 1972 — An Introduction to Neurosciences, W.B. Saunders Co., Philadelphia).

Conhecendo-se o território cutâneo de distribuição dos nervos periféricos e o mapa dos dermátomos, pode-se, diante de um quadro de perda de sensibilidade cutânea, determinar se a lesão foi em um nervo periférico, na medula ou nas raízes espinhais.

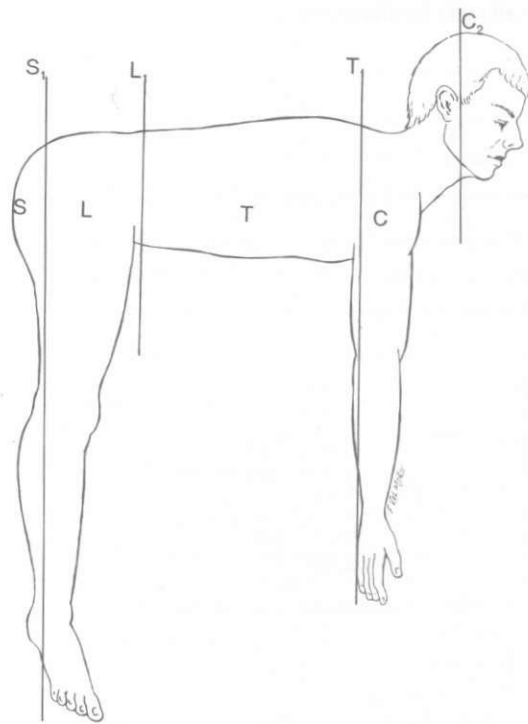



Fig. 11.11 — *Esquema mostrando os limites dos dermátomos cervicais (C), torácicos (T), lombares (L) e sacrais (S) em um indivíduo em posição quadrúpede.*

5.0 — RELAÇÃO ENTRE AS RAÍZES VENTRAIS E OS TERRITÓRIOS DE INERVAÇÃO MOTORA

Denomina-se *campo radicular motor* o território inervado por uma única raiz ventral. Existem quadros sinópticos indicando o território, vale dizer, os músculos inervados por cada uma das raízes que contribuem para a inervação de cada músculo, ou seja, a composição radicular de cada músculo. Quanto a isso, os músculos podem ser unirradiculares e plurirradiculares, conforme recebam inervação de uma ou mais raízes. Os músculos intercostais são exemplos de músculos unirradiculares. A maioria dos músculos, entretanto, é plurirradicular, não sendo possível separar as partes inervadas pelas diversas raízes. Contudo, no músculo reto do abdome, a parte inervada por uma raiz é separada das inervadas pelas raízes situadas abaixo ou acima por pequenas aponeuroses.

6.0 — UNIDADE MOTORA E UNIDADE SENSITIVA

Denomina-se *unidade motora* o conjunto constituído por um neurônio motor com seu axônio e todas as fibras musculares por ele inervadas. O termo aplica-se apenas aos neurônios motores somáticos, ou seja, à inervação dos músculos estriados esqueléticos. As unidades motoras são as menores unidades funcionais do sistema motor. Por ação do impulso nervoso, todas as fibras musculares da unidade motora se contraem aproximadamente ao mesmo tempo.

Quando, no início de uma 'queda de braço', aumentamos progressivamente a força, fazemos agir um número cada vez maior de unidades motoras do biceps. Entretanto, o aumento da força se deve também ao aumento da freqüência com que os neurônios motores mandam impulsos às fibras musculares que eles inervam. A proporção entre fibras nervosas e musculares nas unidades motoras não é a mesma em todos OS músculos. Músculos de força como o biceps, o triceps ou o gastrocnêmio têm um grande número de fibras musculares para cada fibra nervosa (até 1.700 no gastroenêmio). Já nos músculos que realizam movimentos delicados, como os interósseos e os lumbricais, esse número é muito menor (96 por axônio, no primeiro lumbrical da mão)*.

Por homologia com unidade motora conceitua-se também *unidade sensitiva*, que é o conjunto de um neurônio sensitivo com todas as suas ramificações e seus receptores. Os receptores de uma unidade sensitiva são todos de um só tipo, mas, como há grande superposição de unidades sensitivas na pele, várias formas de seasibilidade podem ser percebidas em uma mesma área cutânea.

7.0 — ELETROMIOGRAFIA

O estudo da atividade elétrica dos músculos estriados esqueléticos durante a contração muscular se faz pela *eletromiografia*. Para isso colocam-se eletrodos sobre a pele (no caso de músculos superficiais) ou, o que é mais usual, inserem-se eletrodos sob a forma de agulhas nos músculos a serem estudados. Desse modo pode-se registrar em diversas situações fisiológicas as características dos potenciais elétricos que

*Feinstein, B. et al. — 1954 — Acta Anatômica 23: 127-142.

resultam da atividade das unidades motoras do músculo em estudo. O método permite avaliar o número de unidades motoras sob controle voluntário existentes no músculo, assim como o tamanho dessas unidades, visto que a amplitude do potencial gerado em cada unidade é proporcional ao número de fibras musculares que ela contém. A eletromiografia é de grande valor no diagnóstico diferencial das afecções que acometem as unidades motoras, permitindo distinguir aquelas que afetam o músculo (miopatias) daquelas que afetam o neurônio (neuropatias). Em caso de lesão de um nervo seguida de neurorrafia, pode-se, através de sucessivos exames eletromiográficos, acompanhar a evolução do processo de reinervação de um músculo, verificando-se o aumento do número de unidades motoras que reaparecem. Os anatomistas mais orientados para estudos funcionais freqüentemente usam a eletromiografia em pesquisas, visando esclarecer o modo de participação de músculos ou grupos musculares na execução de movimentos.

Capítulo 12

Nervos Cranianos

1.0 — GENERALIDADES

Nervos cranianos são os que fazem conexão com o encéfalo. A maioria deles liga-se ao tronco encefálico, excetuando-se apenas os nervos olfatório e óptico, que se ligam, respectivamente, ao telencéfalo e ao diencéfalo. Os nomes dos nervos cranianos, numerados em seqüência crânio-caudal, aparecem na Tabela 12.1, que contém também as origens aparentes no encéfalo e no crânio, dos 12 pares cranianos*. Os nervos III, IV e VI inervam os músculos do olho. O V par, nervo trigêmeo, é assim denominado em virtude de seus três ramos: nervos *oftálmico*, *maxilar* e *mandibular*. O VII, nervo facial, compreende o nervo facial propriamente dito e o *nervo intermédio*, considerado por alguns como a raiz sensitiva e visceral do nervo facial. O VIII par, nervo facial vestíbulo-coclear, apresenta dois componentes distintos, que são por alguns considerados como nervos separados. São eles as partes vestibular e coclear, relacionados, respectivamente, com o equilíbrio e a audição. Por isso, o nervo vestíbulo-coclear é também denominado *nervo estato-acústico*. O antigo nome nervo auditivo, quando usado em relação a todo o nervo, é impróprio, pois acentua apenas um dos componentes do VIII par. O nervo vago é também chamado *pneumo gástrico*. O nervo acessório difere dos demais pares cranianos por ser formado por uma raiz craniana (ou bulbar) e outra espinhal. A Tabela 12.1 mostra também que os nervos cranianos são muito mais complicados do que os espinhais no que se refere às origens aparentes. Enquanto nos nervos espinhais as origens são sempre as mesmas, variando apenas o nível em que a conexão é feita com a medula ou com o esqueleto, nos nervos cranianos as origens aparentes são diferentes para cada nervo (Fig. 8.6). As origens reais são ainda mais complicadas e serão estudadas a propósito da estrutura do sistema nervoso central.

* *Na realidade são 13 os pares cranianos, se considerarmos o nervo terminal, pouco desenvolvido no homem c de função controvertida. Alguns, entretanto, consideram-no associado ao nervo olfatório.*

2.0 — COMPONENTES FUNCIONAIS DOS NERVOS CRANIANOS

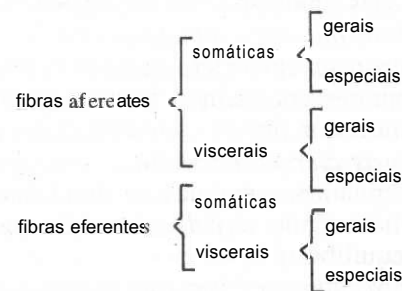
A chave seguinte mostra a classificação funcional das fibras dos nervos cranianos:

Quando se compara esta chave com a que foi vista a propósito dos nervos espinhais, chama atenção a maior complexidade funcional dos nervos cranianos, determinada principalmente pelo aparecimento dos *componentes especiais*. Estudaremos os componentes funcionais aferentes e eferentes.

Tabela 12.1
Origem Aparente dos Nervos Cranianos

Par craniano	*Origem aparente no encéfalo*	*Origem aparente no crânio*
I	bulbo olfatório	lâmina crivosa do osso etmóide
II	quiasma óptico	canal óptico
III	sulco medial do pedúnculo cerebral	fissura orbital superior
IV	véu medular superior	fissura orbital superior
V	entre a ponte e o pedúnculo cerebelar médio	fissura orbital superior (oftálmico); forame redondo (maxilar) e forame oval (mandibular)
VI	sulco bulbo-pontino	fissura orbital superior
VII	sulco bulbo-pontino (lateralmente ao VI)	forame estilomastóideo
VIII	sulco bulbo-pontino (lateralmente ao VII)	penetra no osso temporal pelo meato acústico interno, mas não sai do crânio
IX	sulco lateral posterior do bulbo	forame jugular
X	sulco lateral posterior caudalmente ao IX	forame jugular
XI	sulco lateral posterior do bulbo (raiz craniana) e medula (raiz espinhal)	forame jugular
XII	sulco lateral anterior do bulbo, adiante da oliva	canal do hipoglosso

2.1 — COMPONENTES AFERENTES

Na extremidade cefálica dos animais desenvolveram-se durante a evolução órgãos de sentido mais complexos, que são, nos mamíferos, os órgãos da visão, audição, gustação e olfação. Os receptores destes órgãos são denominados "especiais" para distingui-los dos demais receptores, que, por serem encontrados em todo o resto do corpo, são denominados gerais. As fibras nervosas em relação com estes receptores são pois classificadas como especiais. Assim, temos:

a) *fibras aferentes somáticas gerais* — originam-se em exteroceptores e proprioceptores, conduzindo impulsos de temperatura, dor, pressão, tato e propriocepção;

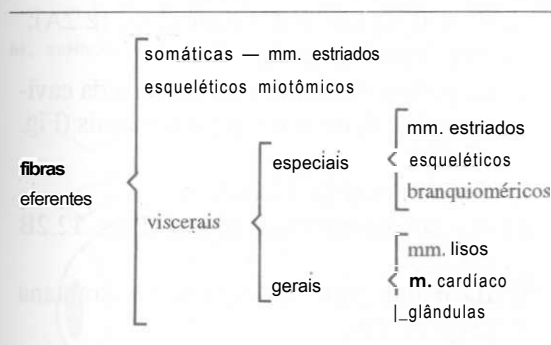
b) *fibras aferentes somáticas especiais* — originam-se na retina e no ouvido interno, relacionando-se, pois, com visão, audição e equilíbrio:

c) *fibras aferentes viscerais gerais* — originam-se em visceroceptores e conduzem, por exemplo, impulsos relacionados com a dor visceral;

d) *fibras aferentes viscerais especiais* — originam-se em receptores gustativos e olfatórios, considerados viscerais por estarem localizados em sistemas viscerais, como os sistemas digestivo e respiratório.

2.2 — COMPONENTES EFERENTES

Para que possamos entender a classificação funcional das fibras eferentes dos nervos cranianos, cumpre uma rápida recapitulação da origem embriológica dos músculos estriados esqueléticos. A maioria destes músculos deriva dos miótomos dos somitos e são, por este motivo, chamados *músculos estriados miotômicos.* Com exceção de pequenos somitos existentes adiante dos olhos (somitos pré-ópticos), não se formam somitos na extremidade cefálica dos embriões. Nesta região, entretanto, o mesoderma é fragmentado pelas fendas branquiais, que delimitam os arcos branquiais. Os músculos estriados derivados destes arcos branquiais são chamados *músculos estriados branquioméricos.* Músculos miotômicos e branquioméricos, embora originados de modo diferente, são estruturalmente semelhantes. Entretanto, os arcos branquiais são considerados formações viscerais, e as fibras que inervam os músculos neles originados são consideradas *fibras eferentes viscerais especiais,* para distingui-las das *eferentes viscerais gerais,* relacionadas com a inervação dos músculos lisos, cardíaco e das glândulas. Como será visto no capítulo seguinte, as fibras eferentes viscerais gerais pertencem à divisão parassimpática do sistema ner-

voso autônomo e terminam em gânglios viscerais, de onde os impulsos são levados às diversas estruturas viscerais. Elas são, pois, fibras pré-ganglionares e promovem a inervação pré-ganglionar destas estruturas. As fibras que inervam músculos estriados miotômicos são denominadas *fibras eferentes somáticas.* Esta classificação encontra apoio na localização dos núcleos dos nervos cranianos motores, situados no tronco encefálico. Como será visto no Capítulo 18, os núcleos que originam as fibras eferentes viscerais especiais têm posição muito diferente daqueles que originam as fibras eferentes somáticas ou viscerais gerais. A chave abaixo resume o que foi exposto sobre as fibras eferentes dos nervos cranianos.

A propósito da inervação da musculatura branquiomérica, é interessante lembrar que, muito cedo no desenvolvimento, cada arco branquial recebe um nervo craniano que inerva a musculatura que aí se forma, como está indicado na Tabela 12.2.

Muito interessante é a inervação do músculo digástrico, cujo ventre anterior, derivado do primeiro arco, é inervado pelo trigêmeo, enquanto o ventre posterior, derivado do segundo arco é inervado pelo facial.

Os músculos esternocleidomastóideo e trapézio são, ao menos em parte, de origem branquiomérica, sendo inervados pela raiz espinhal do nervo acessório.

3.0 — ESTUDO SUMÁRIO DOS NERVOS CRANIANOS

O estudo minucioso das ramificações e da distribuição de cada nervo craniano deve ser feito na anatomia geral através de dissecações. Limitar-nos-emos agora a algumas considerações sumárias sobre os nervos cranianos, com ênfase nos componentes funcionais.

3.1 — NERVO OLFATÓRIO, I PAR (Fig. 29.6)

É representado por numerosos pequenos feixes nervosos que, originando-se na região olfatória de cada fossa nasal, atravessam a lâmina crivosa do osso etmóide e terminam no bulbo olfatório. É um nervo exclusivamente sensitivo, cujas fibras conduzem impulsos olfatórios, sendo, pois, classificados como ***aferentes viscerais especiais.***

3.2 — NERVO ÓPTICO, II PAR (Figs. 8.6 e 29.9)

É constituído por um grosso feixe de fibras nervosas que se originam na retina, emergem próximo ao pólo posterior de cada bulbo ocular, penetrando no crânio pelo canal óptico. Cada nervo óptico une-se com o do lado oposto, formando o quiasma óptico, onde há cruzamento parcial de suas fibras, as quais continuam no tracto óptico até o corpo geniculado lateral. O nervo óptico é um nervo exclusivamente sensitivo, cujas fibras conduzem impulsos visuais, classificando-se, pois, como ***aferentes somáticas especiais.***

3.3 — NERVOS OCULOMOTOR, III PAR; TROCLEAR, IV, PAR; E ABDUCENTE, VI PAR (Fig. 12.1)

São nervos motores que penetram na órbita pela fissura orbital superior, distribuindo-se aos músculos extrínsecos do bulbo ocular, que são os seguintes: elevador da pálpebra superior, reto superior, reto inferior, reto medial, reto lateral, oblíquo superior e oblíquo inferior. Todos estes músculos são inervados pelo oculomotor, com exceção do reto lateral e do oblíquo superior, inervados, respectivamente, pelos nervos abducente e troclear (Fig. 12.1). Admite-se que os músculos extrínsecos do olho derivam dos somitos pré-ópticos, sendo, por conseguinte, de origem miotômica. As fibras nervosas que os inervam são, pois, classificadas como ***eferentes somáticas.*** Além disto, o nervo oculomotor possui fibras responsáveis pela inervação pré-gan-

Tabela 12.2
Inervação da Musculatura Branquiomérica

Nervo	*Musculatura*	*Arco branquial*
V par	musculatura mastigadora; ventre anterior do m. digástrico	1º
VII par	musculatura mímica; ventre posterior do m. digástrico e m. estilo-hióideo	2º
IX par	músculo estilofaríngeo e constrictor superior da faringe	3º
X par	músculos constrictores médio e inferior da faringe e músculos da laringe	4º e 5º

glionar dos músculos intrínsecos do bulbo ocular: o músculo ciliar, que regula a convergência do cristalino, e o músculo esfíncter da pupila. Estes músculos são lisos, e as fibras que os inervam classificam-se como *eferentes viscerais gerais* (Fig. 12.1).

O conhecimento dos sintomas que resultam de lesões dos nervos abducente e oculomotor, além de ajudar a entender suas funções, reveste-se de grande importância clínica. Para estudar esses sintomas, consulte respectivamente os itens 5.2 e 6.1 do Capítulo 21*.

3.4 — NERVO TRIGÊMEO, V PAR (Figs. 8.6, 9.2, 12.2, 12.3, 14.4)

O nervo trigêmeo é um nervo misto, sendo o componente sensitivo consideravelmente maior. Possui uma *raiz sensitiva* e uma *raiz motora.* A raiz sensitiva é formada pelos prolongamentos centrais dos neurônios sensitivos, situados no *gânglio trigeminal* (ou semilunar, ou gânglio de Gasser), que se localiza no *cavo trigeminal,* sobre a parte petrosa do osso temporal. Os prolongamentos periféricos dos neurônios sensitivos do gânglio trigeminal formam distalmente ao gânglio os três ramos ou divisões do trigêmeo: *nervo oftálmico, nervo maxilar* e *nervo mandibular,* responsáveis pela sensibilidade somática geral de grande parte da cabeça (Fig. 12.2), através de fibras que se classificam como *aferentes somáticas gerais.* Estas fibras conduzem impulsos exteroceptivos e proprioceptivos. Os impulsos exteroceptivos (temperatura, dor, pressão e tato) originam-se:

a) da pele da face e da fronte (Fig. 12.2A);
b) da conjuntiva ocular;
c) da parte ectodérmica da mucosa da cavidade bucal, nariz e seios paranasais (Fig. 12.2B);
d) dos dentes (Fig. 12.2C);
e) dos 2/3 anteriores da língua (Figs. 12.2B e 12.3);
f) da maior parte da dura-máter craniana (Fig. 12.2B).

Os impulsos proprioceptivos originam-se em receptores localizados nos músculos mastigadores e na articulação têmporo-mandibular.

A raiz motora do trigêmeo é constituída de fibras que acompanham o nervo mandibular, distribuindo-se aos músculos mastigadores (temporal, masséter, pterigóideo lateral, pterigóideo medial, milo-hióideo e o ventre anterior do músculo digástrico) (Fig. 12.2 D). Todos estes músculos derivam do primeiro arco branquial e as fibras que os inervam se classificam como *eferentes viscerais especiais.*

O problema médico mais freqüentemente observado em relação ao trigêmeo é a *nevralgia,* que se manifesta por crises dolorosas muito intensas no território de um dos ramos do nervo. São quadros clínicos que causam grande sofrimento ao paciente e cujo tratamento é freqüentemente cirúrgico. Faz-se então a termocoagulação controlada do ramo do trigêmeo afetado, de modo a destruir as fibras sensitivas. Para estudar as perturbações motoras e sensitivas que resultam das lesões do nervo do trigêmeo, consulte o item 5.3 do Capítulo 21.

---

*Antes de fazer a consulta, tente deduzir você mesmo os sintomas com base nos conhecimentos que já tem.

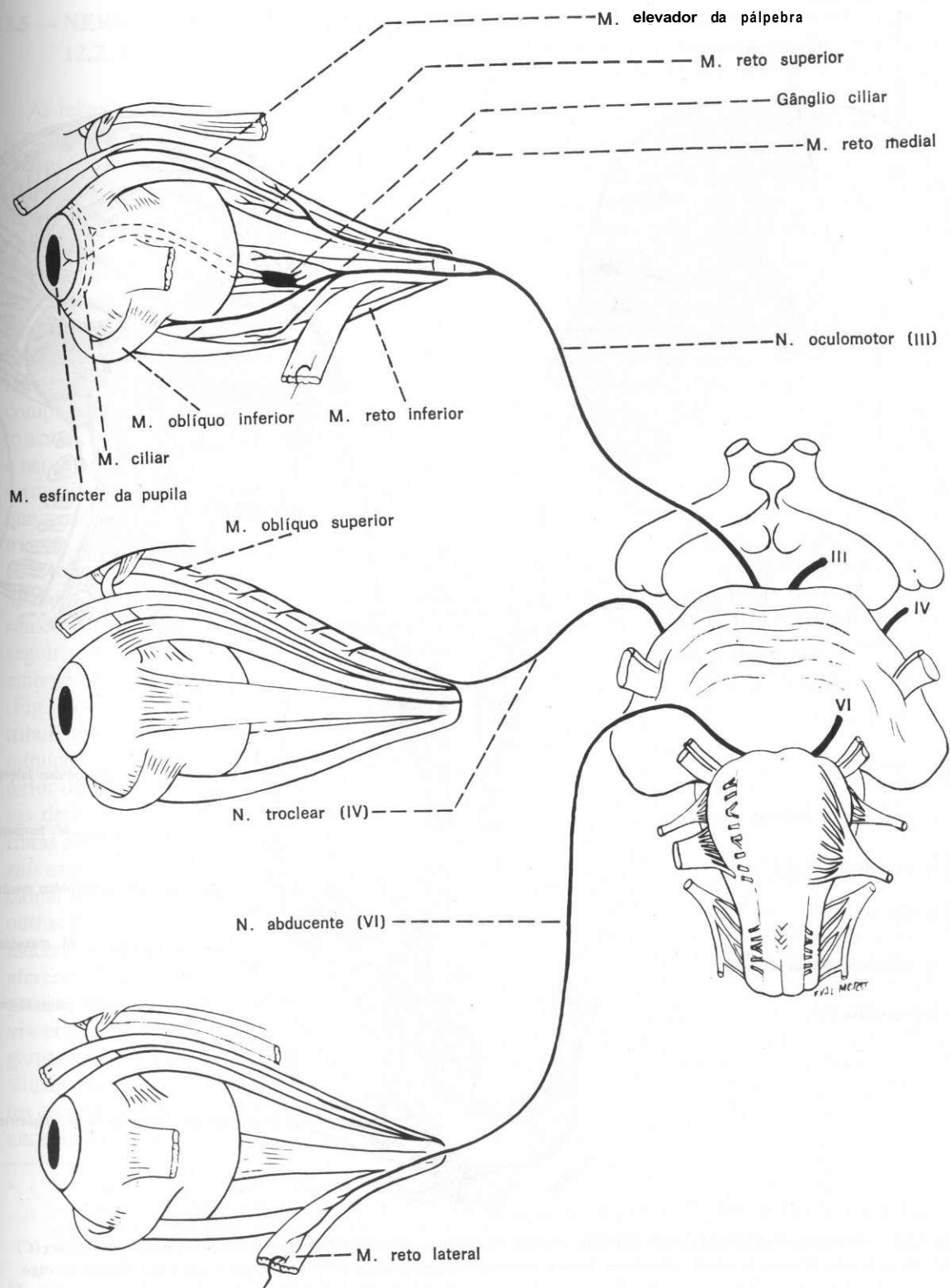



Fig. 12.1 — *Origem aparente e territórios de distribuição dos nervos oculomotor, troclear e abducente.*

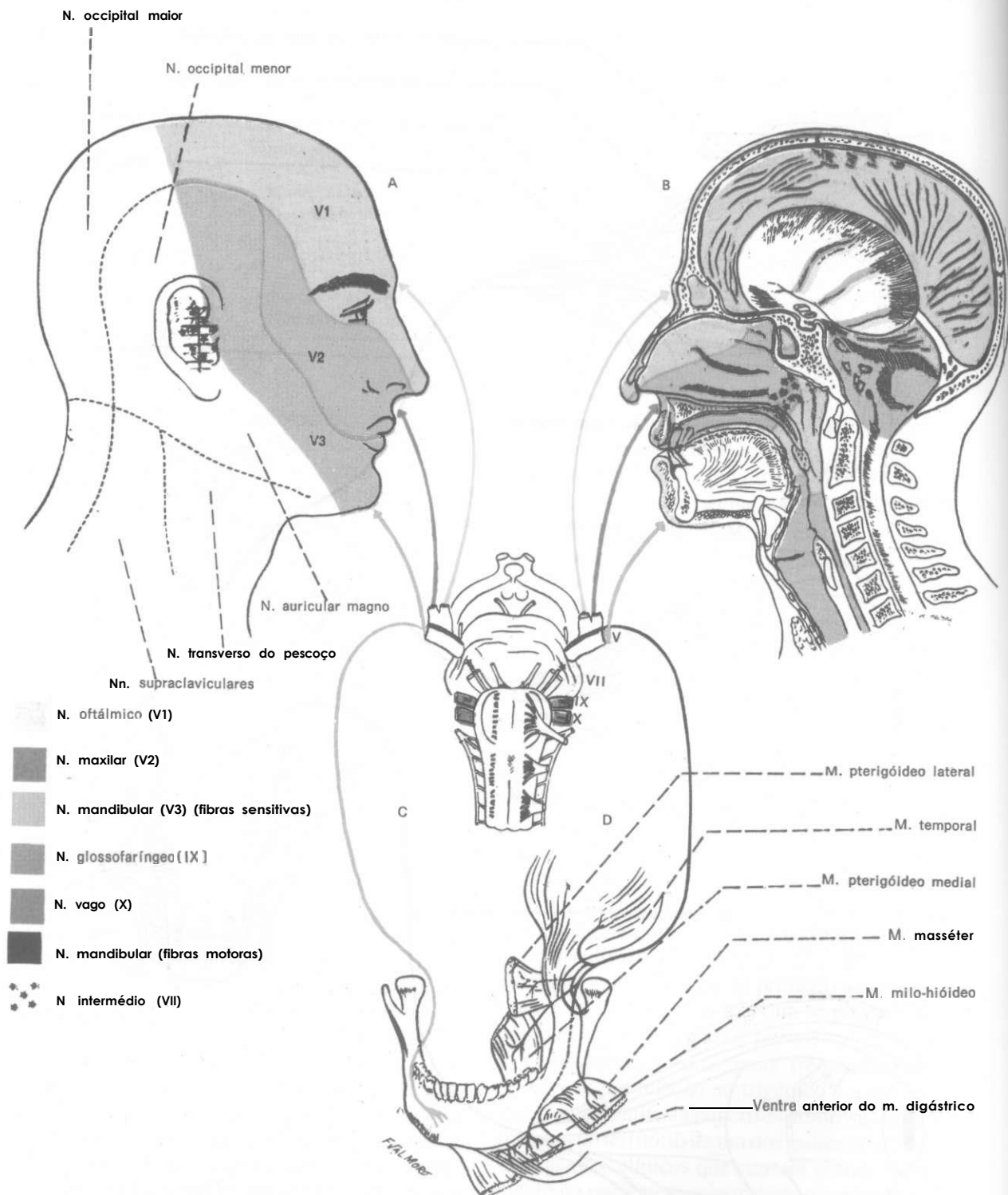



Fig. 122 — *Origem aparente c território dc distribuição do nervo trigêmeo, na pele (A), nas mucosas c meninges (B), nos dentes (C) c nos músculos (D). O esquema mostra também os territórios sensitivos (sensibilidade geral) dos nervo facial, glossofaríngeo c vago.*

3.5 — NERVO FACIAL, VII (Figs. 8.6, 9.2, 12.2, 14.4)

As relações do nervo facial têm grande importância médica, destacando-se as relações com o nervo vestíbulo-coclear e com as estruturas do ouvido médio e interno, no trajeto intrapetroso e com a parótida*, no trajeto extrapetroso;

O nervo emerge do sulco bulbo-pontino através de uma raiz motora, o *nervo facial propriamente dito,* e uma raiz sensitiva e visceral, o *nervo intermédio* (dc Wrisberg) (Fig. 8.6). Juntamente com o nervo vestíbulo-coclear, os dois componentes do nervo facial penetram no meato acústico interno (Fig. 9.2), no interior do qual o nervo intermédio perde a sua individualidade, formando-se, assim, um tronco nervoso único que penetra no *canal facial.* Depois de curto trajeto, o nervo facial encurva-se fortemente para trás. formando *o joelho externo***, ou *genículo do nervo facial,* onde existe um gânglio sensitivo. o *gânglio geniculado* (Fig. 14.4). A seguir, o nervo descreve nova curva para baixo, emerge do crânio pelo forame estilomastóideo (Fig. 14.4), atravessa a glândula parótida e distribui uma série de ramos para os músculos mímicos. músculo estilo-hióideo e ventre posterior do músculo digástrico***. Estes músculos derivam do segundo arco branquial, e as fibras a eles destinadas são pois *eferentes viscerais especiais,* constituindo o componente funcional mais importante do VII par. Os quatro outros componentes funcionais do VII par pertencem ao nervo intermédio, que possui fibras aferentes viscerais especiais, aferentes viscerais gerais, aferentes somáticas gerais e aferentes viscerais gerais. As libras aferentes são prolongamentos periféricos de neurônios sensitivos situados no gânglio geniculado; os componentes eferentes originam-se em núcleos do tronco encefálico.

Todos esses componentes são sintetizados na Tabela 12.3. Descrevemos com mais minúcias os três seguintes, que são mais importantes do ponto de vista clínico:

a) *fibras eferentes viscerais especiais* — para os músculos mímicos, músculos estilo-hióideo e ventre posterior do digástrico.

b) *fibras eferentes viscerais gerais* — responsáveis pela inervação pré-ganglionar das glândulas lacrimal, submandibular e sublingual. As fibras destinadas às glândulas submandibular e sublingual acompanham o trajeto anteriormente descrito para as fibras aferentes viscerais especiais, mas terminam no *gânglio submandibular.* gânglio parassimpático anexo ao nervo lingual, de onde saem as fibras (pós-ganglionares), que se distribuem às glândulas submandibular (Fig. 14.4) e sublingual. As fibras destinadas à glândula lacrimal destacam-se do nervo facial ao nível do joelho, percorrem, sucessivamente, o *nervo petroso maior* e o *nervo do canal pterigóideo,* atingindo o *gânglio pterigopalatino* (Fig. 14.4), de onde saem as fibras (pós-ganglionares) para a glândula lacrimal;

c) *fibras aferentes viscerais especiais* — recebem impulsos gustativos originados nos 2/3 anteriores da língua (Fig. 12.3) e seguem inicialmente junto com o nervo lingual. A seguir, passam para o nervo *corda do tímpano* (Fig. 14.4), através do qual ganham 0 nervo facial. pouco antes de sua emergência no forame estilomastóideo. Passam pelo gânglio geniculado e penetram no tronco encefálico pela raiz sensitiva do VII par, ou seja, pelo nervo intermédio.

As lesões do nervo facial são muito freqüentes e de grande importância clínica. Para estudar os sintomas que ocorrem nesses casos. consulte o item 5.1 do Capítulo 21, atendo-se por enquanto apenas ao estudo das paralisias faciais periféricas.

3.6 — NERVO VESTÍBULO-COCLEAR, VIII PAR (Figs. 8.6, 9.2)

O nervo vestíbulo-coclear é um nervo exclusivamente sensitivo, que penetra na ponte na porção lateral do sulco bulbo-pontino, entre a emergência do VII par e o flóculo do cerebelo,

---

* *Fato curioso é que o Vil par, apesar de atravessar a parótida, onde se ramifica, formando o plexo parotídeo, inerva todas as glândulas maiores da cabeça, exceto a parótida, que é inervada pelo glossofaríngeo.*

** *O joelho interno do nervo facial localiza-se no interior da ponte, onde será estudado.*

*** *No seu trajeto intrapetroso, o nervo facial emite o nervo estapédio para o músculo de mesmo nome.*

Tabela 12.3
Componentes Funcionais das Fibras dos Nervos Facial (VII), Glossofaríngeo (IX) e Vago (X)

Componente funcional	*VII*	*IX*	*X*
aferente visceral especial	gustação nos 2/3 anteriores da língua	gustação no 1/3 posterior da língua	gustação na epiglote
aferente visceral geral	parte posterior das fossas nasais e face superior do palato mole	1/3 posterior da língua, faringe, úvula tonsilas, tuba auditiva, seio e corpo carotídeos	parte da faringe, laringe, traquéia, esôfago e vísceras torácicas e abdominais
aferente somático geral	parte do pavilhão auditivo e do meato acústico externo	parte do pavilhão auditivo e do meato acústico externo	parte do pavilhão auditivo e do meato acústico externo
eferente visceral geral	glândula submandibular, sublingual e lacrimal	glândula parótida	vísceras torácicas e abdominais
eferente visceral especial	musculatura mímica	m. constrictor superior da faringe e m. estilofaríngeo	músculos da faringe e da laringe

região denominada *ângulo ponto-cerebelar.* Ocupa, juntamente com os nervos facial e intermédio, o meato acústico interno, na porção petrosa do osso temporal (Fig. 9.2). Compõe-se de uma *parte vestibular* e uma *parte coclear,* que, embora unidas em um tronco comum, têm origem, funções e conexões centrais diferentes.

A parte vestibular é formada por fibras que se originam dos neurônios sensitivos do *gânglio vestibular,* que conduzem impulsos nervosos relacionados com o equilíbrio, originados em receptores da porção vestibular do ouvido interno.

A parte coclear do VIII par é constituída de fibras que se originam nos neurônios sensitivos do *gânglio espiral* e que conduzem impulsos nervosos relacionados com a audição originados no órgão espiral (de Corti), receptor da audição, situado na cóclea. As fibras do nervo vestíbulo-coclear classificam-se como *aferentes somáticas especiais.*

Lesões do nervo vestíbulo-coclear causam diminuição da audição, por comprometimento da parte coclear do nervo, juntamente com vertigem, alterações do equilíbrio e enjôo, por envolvimento da parte vestibular. Ocorre também um movimento oscilatório dos olhos denominado *nistagno,* que será estudado no Capítulo 19 (item 2.2.5). Uma das patologias mais comuns do nervo vestíbulo-coclear são os tumores formados por células de Schwann (neurinomas), que crescem comprimindo o próprio nervo e também os nervos facial e intermédio. Nesse caso, aos sintomas acima descritos associam-se aqueles que resultam das lesões desses dois nervos. Freqüentemente o neurinoma cresce no ângulo ponto-cerebelar, podendo comprimir também o trigêmeo e o pedúnculo cerebelar médio (síndrome do ângulo ponto-cerebelar).

3.7 — NERVO GLOSSOFARÍNGEO, IX PAR (Figs. 8.6, 9.2, 12.2, 12.3, 14.4)

O nervo glossofaríngeo é um nervo misto que emerge do sulco lateral posterior do bulbo, sob a forma de filamentos radiculares, que se dispõem em linha vertical (Fig. 8.6). Estes filamentos reúnem-se para formar o tronco do nervo glossofaríngeo, que sai do crânio pelo forame jugular. No seu trajeto, através do forame jugular, o nervo apresenta dois gânglios, *superior* (ou jugular) e *inferior* (ou petroso), formados por neurônios sensitivos (Fig. 14.4). Ao sair do crânio, o nervo glossofaríngeo tem trajeto descendente, ramificando-se na raiz da língua e na faringe. Os componentes funcionais das fibras do nervo glossofaríngeo assemelham-se aos do vago c do facial e estão sintetizados na Tabela 12.3.

Desses, o mais importante é o representado pelas fibras *aferentes viscerais gerais,* responsáveis pela sensibilidade geral do terço posterior da língua, faringe, úvula, tonsila, tuba auditiva, além do seio e corpo carotídeos. Merecem destaque também as fibras eferentes viscerais gerais pertencentes à divisão parassimpática

do sistema nervoso autônomo e que terminam no gânglio ótico (Fig. 14.4). Desse gânglio saem fibras nervosas do nervo aurículo-temporal que vão inervar a glândula parótida.

Das afecções do nervo glossofaríngeo, merece destaque apenas a *nevralgia*. Esta caracteriza-se por crises dolorosas semelhantes às já descritas para o nervo trigêmeo e se manifesta na faringe e no terço posterior da língua, podendo irradiar para o ouvido.

3.8 — NERVO VAGO, X PAR (Figs. 8.6, 12.2, 14.4, 14.5)

O nervo vago, o maior dos nervos cranianos, é misto e essencialmente visceral. Emerge do sulco lateral posterior do bulbo (Fig. 8.6) sob a forma de filamentos radiculares que se reúnem para formar o nervo vago. Este emerge do crânio pelo forame jugular, percorre o pescoço e o tórax, terminando no abdome. Neste longo trajeto o nervo vago dá origem a numerosos ramos que inervam a laringe e a faringe, entrando na formação dos plexos viscerais que promovem a inervação autônoma das vísceras torácicas e abdominais (Fig. 14.5). O vago possui dois gânglios sensitivos, o *gânglio superior* (ou jugular), situado ao nível do forame jugular e o *gânglio inferior* (ou nodoso), situado logo abaixo deste forame (Fig. 14.4). Entre os dois gânglios reúne-se ao vago o ramo interno do nervo acessório. Os componentes funcionais das fibras do nervo vago são sintetizados na Tabela 12.3.

Destes, os mais importantes são os seguintes:

a) *fibras aferentes viscerais gerais* — muito numerosas, conduzem impulsos aferentes originados na faringe, laringe, traquéia, esôfago, vísceras do tórax e abdome (Fig. 12.2B);

b) fibras eferentes viscerais gerais — são responsáveis pela inervação parassimpática das vísceras torácicas e abdominais (Fig. 14.5);

c) *fibras eferentes viscerais especiais* — inervam os músculos da faringe e da laringe. O nervo motor mais importante da laringe é o nervo laríngeo, recorrente do vago, cujas fibras, entretanto, são, em grande parte, originadas no ramo interno do nervo acessório.

As libras eferentes do vago originam-se em núcleos situados no bulbo, e as fibras sensitivas (Fig. 14.4) nos *gânglios superior* (libras somáticas) e *inferior* (fibras viscerais).

3.9 — NERVO ACESSÓRIO, XI PAR (Figs. 8.6, 9.2)

O nervo acessório é formado por uma *raiz craniana* (ou bulbar) e uma *raiz espinhal*. A raiz espinhal é formada por filamentos radiculares que emergem da face lateral dos cinco ou seis primeiros segmentos cervicais da medula e constituem um tronco comum que penetra no crânio pelo forame magno (Fig. 9.2). A este tronco reúnem-se os filamentos da raiz craniana que emergem do sulco lateral posterior do bulbo (Fig. 8.6). O tronco comum atravessa o forame jugular em companhia dos nervos glossofaríngeo e vago, dividindo-se em um *ramo interno* c outro *externo*. O ramo interno, que contém as fibras da raiz craniana, reúne-se ao vago e distribui-se com ele. O ramo externo contém as libras da raiz espinhal, tem trajeto próprio e, dirigindo-se obliquamente para baixo, inerva os músculos trapézio e esternocleidomastóideo. Funcionalmente, as fibras oriundas da raiz craniana que se unem ao vago são de dois tipos:

a) *fibras eferentes viscerais especiais* — inervam os músculos da laringe através do nervo laríngeo recorrente;

b) *fibras eferentes viscerais gerais* — inervam vísceras torácicas juntamente com fibras vagais.

Embora haja controvérsia sobre a origem embriológica dos músculos trapézio e esternocleidomastóideo, existem argumentos que indicam uma origem branquiomérica. Segundo este ponto de vista, as fibras da raiz espinhal do nervo acessório são *eferentes viscerais especiais*.

3.10 — NERVO HIPOGLOSSO, XII PAR (Figs. 8.6, 9.2, 12.3)

O nervo hipoglosso, essencialmente motor, emerge do sulco lateral anterior do bulbo (Fig. 8.6) sob a forma de filamentos radiculares que se unem para formar o tronco do nervo. Este emerge do crânio pelo canal do hipoglosso, tem trajeto inicialmente descendente, dirigindo-se, a seguir, para diante, distribuindo-se aos mús-

culos intrínsecos e extrínsecos da língua. Embora haja discussão sobre o assunto, admite-se que a musculatura da língua seja derivada dos miótomos da região occipital. Assim, as fibras do hipoglosso são consideradas *eferentes somáticas,* o que, como veremos, está de acordo com a posição de seu núcleo no tronco encefálico.

Nas lesões do nervo hipoglosso, há paralisia da musculatura de uma das metades da língua. Nesse caso, quando o paciente faz a protrusão da língua, ela se desvia para o lado lesado, por ação da musculatura do lado normal não contrabalançada pela musculatura da metade paralisada.

4.0 — INERVAÇÃO DA LÍNGUA

Durante a descrição dos nervos cranianos, vimos que quatro deles contêm fibras destinadas à inervação da língua: o trigêmeo, o facial, o glossofaríngeo e o hipoglosso. Os territórios de inervação de cada um desses nervos são mostrados na Fig. 12.3. Segue-se, à guisa de recordação, um rápido relato sobre a função de cada um deles na inervação da língua:

a) *trigêmeo* — sensibilidade geral (temperatura, dor, pressão e tato) nos 2/3 anteriores;

b) *facial* — sensibilidade gustativa nos 2/3 anteriores;

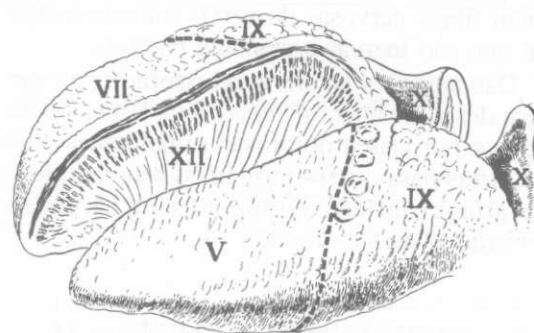
SENSIBILIDADE GUSTATIVA

SENSIBILIDADE GERAL

Fig. 12.3 — *Esquema de inervação da língua.*

c) *glossofaríngeo* — sensibilidade geral e gustativa no terço posterior;

d) *hipoglosso* — motricidade.

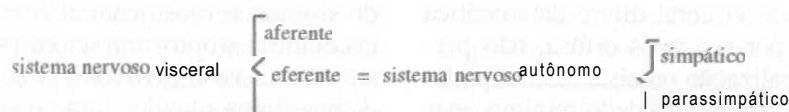
Cabe ressaltar que, embora sejam quatro os nervos cranianos cujas fibras inervam a língua, apenas três nervos chegam a esse órgão, ou seja, o hipoglosso, o glossofaríngeo e o lingual, este último, ramo da divisão mandibular do nervo trigêmeo. Essa 'redução' no número de nervos deve-se ao fato de que as fibras do nervo facial chegam à língua através do nervo lingual, incorporando-se a ele por meio de uma anastomose, denominada nervo corda do timpano (Fig. 14.4).

capítulo 13

Sistema Nervoso Autônomo: Aspectos Gerais

1.0 — CONCEITO

Conforme já foi exposto anteriormente (veja Capítulo 2, item 2.3), pode-se dividir o sistema nervoso em somático e visceral. O *sistema nervoso somático* é também denominado sistema nervoso da vida de relação, ou seja, aquele que relaciona o organismo com o meio. Para isto, a parte aferente do sistema nervoso somático conduz aos centros nervosos impulsos originados em receptores periféricos, informando estes centros sobre o que se passa no meio ambiente. Por outro lado, a parte eferente do sistema nervoso somático leva aos músculos esqueléticos o comando dos centros nervosos resultando movimentos que levam a um maior relacionamento ou integração com o meio externo. O *sistema nervoso visceral* ou da *vida vegetativa* relaciona-se com a inervação das estruturas viscerais e é muito importante para a integração da atividade das vísceras no sentido da manutenção da constância do meio interno (homeostase). Assim como no sistema nervoso somático, distingue-se no sistema nervoso visceral uma parte aferente e outra eferente. O componente aferente conduz os impulsos nervosos originados em receptores das vísceras (visceroceptores) a áreas específicas do sistema nervoso central. O componente eferente traz impulsos de certos centros nervosos até as estruturas viscerais, terminando, pois, em glândulas, músculos lisos ou músculo cardíaco. Por definição, denomina-se *sistema nervoso autônomo* apenas o componente eferente do sistema nervoso visceral. Com base em critérios que serão estudados a seguir, o sistema nervoso autônomo divide-se em *simpático* e *parassimpático,* como mostra a chave abaixo.

Esta divisão, que adotamos por razões didáticos, baseia-se no conceito inicial de Langley, segundo o qual o sistema nervoso autônomo é um sistema exclusivamente eferente ou motor. Contudo, alguns autores adotam o conceito mais amplo, incluindo no sistema nervoso autônomo também as fibras aferentes viscerais. Convém acentuar que as fibras eferentes viscerais especiais estudadas a propósito dos nervos cranianos (Capítulo 12, item 2.2) não fazem parte do sistema nervoso autônomo, pois inervam músculos estriados esqueléticos. Assim, apenas as fibras eferentes viscerais gerais integram este sistema Embora o sistema nervoso autônomo tenha parte tanto no sistema nervoso central como no periférico, neste capítulo daremos ênfase apenas à porção periférica deste sistema. Antes de estudarmos o sistema nervoso autônomo, faremos algumas considerações sobre o sistema nervoso visceral aferente.

2.0 — SISTEMA NERVOSO VISCERAL AFERENTE

As fibras viscerais aferentes conduzem impulsos nervosos originados em receptores situados nas vísceras (visceroceptores). Em geral, estas fibras integram nervos predominantemente viscerais, juntamente com as fibras do sistema nervoso autônomo. Assim, sabe-se hoje que a grande maioria das fibras aferentes que veiculam a dor visceral acompanha as fibras do sistema nervoso simpático, fazendo exceção as fibras que inervam alguns órgãos pélvicos que acompanham nervos parassimpáticos. Os impulsos nervosos aferentes viscerais, antes de penetrar no sistema nervoso central, passam por gânglios sensitivos. No caso dos impulsos que penetram pelos nervos espinhais, estes gânglios são os gânglios espinhais, não havendo, pois, gânglios diferentes para as fibras viscerais e somáticas.

Ao contrário das fibras que se originam em receptores somáticos, grande parte das fibras viscerais conduz impulsos que não se tornam conscientes. Por exemplo, continuamente estão chegando ao nosso sistema nervoso central impulsos que informam sobre a pressão arterial e o teor de O_2 do sangue, sem que nós, entretanto, possamos percebê-los. São, pois, impulsos aferentes inconscientes, importantes para a realização de vários reflexos viscerais ou víscero-somáticos relacionados, no exemplo citado, com o controle da pressão arterial ou da taxa de O_2 do sangue. Existem alguns visceroceptores especializados para detectar este tipo de estímulo, sendo os mais conhecidos os do *seio carotídeo* e do *glomo* (ou corpo) *carotídeo,* situados próximo à bifurcação da artéria carótida comum. Os visceroceptores situados no seio carotídeo são sensíveis às variações da pressão arterial e os do glomo carotídeo, às variações na taxa de O_2 do sangue. Impulsos neles originados são levados ao sistema nervoso central pelo nervo glossofaríngeo. Contudo, muitos impulsos viscerais tornam-se conscientes manifestando-se sob a forma de sensações de sede, fome, plenitude gástrica ou dor.

A sensibilidade visceral difere da somática principalmente por ser mais difusa, não permitindo uma localização precisa. Assim, pode-se dizer que dói a ponta do dedo mínimo, mas não se pode dizer que dói a primeira ou segunda alça intestinal. Por outro lado, os estímulos que determinam dor somática são diferentes dos que determinam a dor visceral. A secção da pele é dolorosa, mas a secção de uma víscera não o é. A distensão de uma víscera como uma alça intestinal é muito dolorosa, o que não acontece com a pele. Considerando-se que a dor é um sinal de alarme, o estímulo adequado para provocar dor em uma região é aquele que mais usualmente é capaz de lesar esta região. Fato interessante, freqüentemente observado na prática médica, é que certos processos inflamatórios ou irritativos de vísceras e órgãos internos dão manifestações dolorosas em determinados territórios cutâneos. Assim, processos irritativos do diafragma manifestam-se por dores e hipersensibilidade na pele da região do ombro; a apendicite pode causar hipersensibilidade cutânea na parede abdominal da fossa ilíaca direita. O fenômeno denomina-se *dor referida.*

3.0 — DIFERENÇAS ENTRE O SISTEMA NERVOSO SOMÁTICO EFERENTE E VISCERAL EFERENTE OU AUTÔNOMO

Os impulsos nervosos que seguem pelo sistema nervoso somático eferente terminam em músculo estriado esquelético, enquanto os que seguem pelo sistema nervoso autônomo terminam em músculo estriado cardíaco, músculo liso ou glândula. Assim, o sistema nervoso eferente somático é voluntário, enquanto o sistema nervoso autônomo é involuntário. Do ponto de vista anatômico, uma diferença muito importante diz respeito ao número de neurônios que ligam o sistema nervoso central (medula ou tronco encefálico) ao órgão efetuador (músculo ou glândula). Este número no sistema nervoso somático é de apenas um neurônio, o neurônio motor somático (Fig. 13.1), cujo corpo, na medula, localiza-se na coluna anterior, saindo o axônio pela raiz anterior e terminando em placas motoras nos músculos estriados esqueléticos. Já no sistema nervoso autônomo temos dois neurônios unindo o sistema nervoso central ao órgão efetuador. Um deles tem o corpo dentro do sistema nervoso central (medula ou tronco encefálico), o outro tem seu corpo localizado no sistema nervoso periférico (Fig. 13.1). Corpos de neurônios situados fora do sistema nervoso central tendem a se agrupar, formando dila-

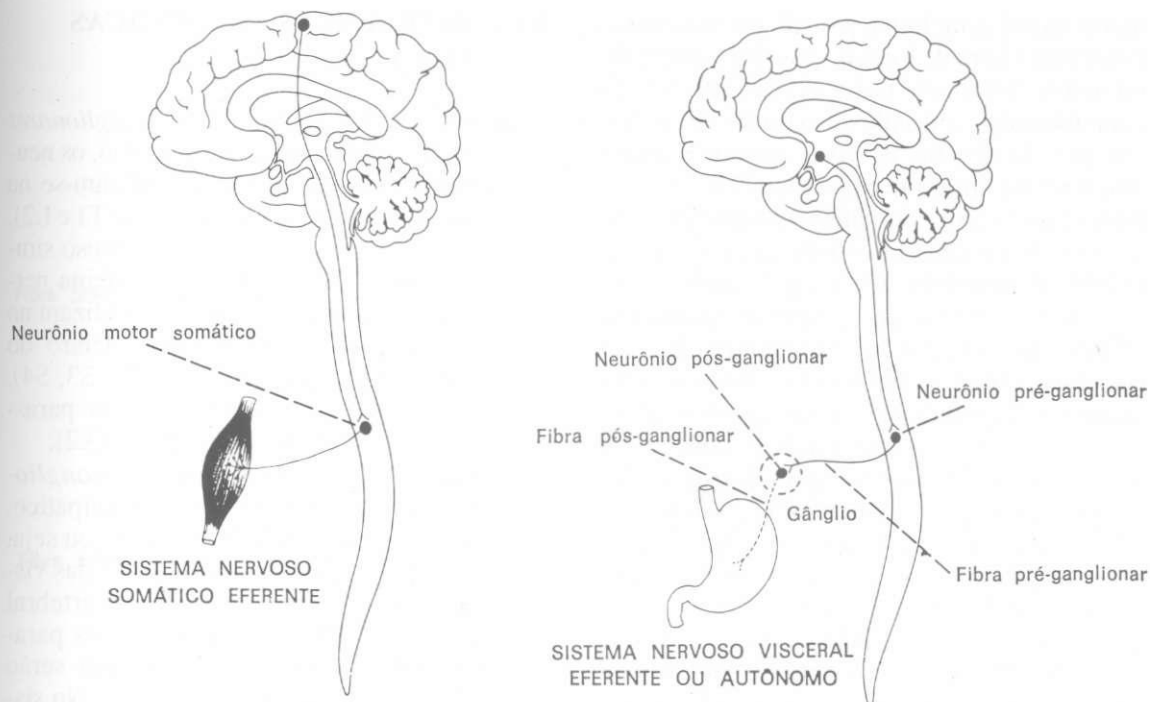



Fig. 13.1 — *Diferenças anatômicas entre o sistema nervoso somático eferente (lado esquerdo) e o sistema nervoso visceral eferente ou autônomo (lado direito).*

tações denominadas *gânglios.* Assim, os neurônios do sistema nervoso autônomo cujos corpos estão situados fora do sistema nervoso central se localizam em gânglios e são denominados *neurônios pós-ganglionares* (melhor seria talvez a denominação neurônios ganglionares); aqueles que têm seus corpos dentro do sistema nervoso central são denominados *neurônios pré-ganglionares* (Fig. 13.1). Convém lembrar ainda que, no sistema nervoso somático eferente, as fibras terminam em estruturas denominadas placas motoras, que não existem na terminação das fibras do sistema nervoso autônomo.

4.0 — ORGANIZAÇÃO GERAL DO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO

Neurônios pré e pós-ganglionares são os elementos fundamentais da organização da parte periférica do sistema nervoso autônomo. Os corpos dos neurônios pré-ganglionares localizam-se na medula e no tronco encefálico. No tronco encefálico, eles se agrupam formando os núcleos de origem de alguas nervos cranianos, como o nervo vago. Na medula eles ocorrem do 1º ao 12º segmentos torácicos (T1 até T12) nos dois primeiros segmentos lombares (L1 e L2) e nos segmentos S2, S3 e S4 da medula sacral.

Na porção tóraco-lombar (T1 até L2) da medula, os neurônios pré-ganglionares se agrupam formando uma coluna muito evidente denominada *coluna lateral,* situada entre as colunas anterior e posterior da substância cinzenta. O axônio do neurônio pré-ganglionar envolvido pela bainha de mielina e bainha de neurilema constitui a chamada *fibra pré-ganglionar,* assim denominada por estar situada antes de um gânglio, onde termina fazendo sinapse com o neurônio pós-ganglionar.

Os corpos dos neurônios pós-ganglionares estão situados nos gânglios do sistema nervoso autônomo, onde são envolvidos por um tipo especial de células neurogliais denominadas *anfícitos.* São neurônios multipolares, no que se diferenciam dos neurônios sensitivos, também localizados em gânglios, pois estes são pseudo-unipolares. O axônio do neurônio pós-ganglionar envolvido apenas pela bainha de neurilema constitui a *fibra pós-ganglionar.* Portanto, a fibra pós-ganglionar se diferencia histologica-

mente da pré-ganglionar por ser amielínica com neurilema (fibra de Remak). As fibras pós-ganglionares terminam nas vísceras cm contato com glândulas, músculos liso ou cardíaco. Nos gânglios do sistema nervoso autônomo a proporção entre fibras pré e pós-ganglionares varia muito e no sistema simpático, usualmente, uma fibra pré-ganglionar faz sinapse com um grande número de neurônios pós-ganglionares*.

Convém lembrar que existem áreas no telencéfalo e no diencéfalo que regulam as funções viscerais, sendo as mais importantes o hipotálamo e o chamado sistema límbico. Estas áreas estão relacionadas também com certos tipos dc comportamento, especialmente com o comportamento emocional. Impulsos nervosos nelas originados são levados por fibras especiais que terminam fazendo sinapse com os neurônios pré-ganglionares do tronco encefálico c da medula (Fig. 13.1). Por este mecanismo o sistema nervoso central influencia o funcionamento das vísceras. A existência destas conexões entre as áreas cerebrais relacionadas com o comportamento emocional e os neurônios pré-ganglionares do sistema nervoso autônomo ajuda a entender as alterações do funcionamento visceral, que freqüentemente acompanham os graves distúrbios emocionais. Estas áreas e suas conexões serão estudadas no Capítulo 2X.

5.0 — DIFERENÇAS ENTRE O SISTEMA NERVOSO SIMPÁTICO E PARASSIMPÁTICO

Tradicionalmente divide-se o sistema nervoso autônomo em simpático e parassimpático**, de acordo com critérios anatômicos, farmacológicos e fisiológicos.

* No gânglio simpático cervical superior do homem, segundo dados dc Ebbesson, S. O.E. — 1963 —, a relação entre fibras pré-ganglionares c pós-ganglionares variou entre 1 para 63 e I para 196 (Ebbesson, S.O.E. — 1963 — Anatomical Record 146:153-156).

** Recentemente alguns autores propuseram uma terceira divisão, o sistema nervoso entérico, constituído pelos plexos submueoso (dc Meissner) c mioentérico (de Auerbach). Na realidade, esta terceira divisão já havia sido proposta há muito tempo por Langley, sem entretanto obter at citação. Para mais informações sobre esse assunto, veja o rodapé da página 148.

5.1 — DIFERENÇAS ANATÔMICAS (Fig. 13.2)

a) *posição dos neurônios pré-ganglionares* — no sistema nervoso simpático, os neurônios pré-ganglionares localizam-se na medula torácica e lombar (entre T1 e L2). Diz-se, pois, que o sistema nervoso simpático é tóraco-lombar. No sistema nervoso parassimpático eles se localizam no tronco encefálico (portanto, dentro do crânio) e na medula sacral (S2, S3, S4). Diz-se que o sistema nervoso parassimpático é crânio-sacral (Fig. 13.2).

b) *posição dos neurônios pós-ganglionares* — no sistema nervoso simpático, os neurônios pós-ganglionares, ou seja, os gânglios, localizam-se longe das vísceras c próximo da coluna vertebral (Fig. 13.2). Formam os gânglios paravertebrais e pré-vertebrais, que serão estudados no próximo capítulo. No sistema nervoso parassimpático, os neurônios pós-ganglionares localizam-se próximo ou dentro das vísceras. Como exemplo temos as células ganglionares dos plexos submueoso (de Meissner) c mioentérico (de Auerbach), situados na parede do tubo digestivo;

c) *tamanho das fibras pré e pós-ganglionares* — em conseqüência da posição dos gânglios, o tamanho das fibras pré c pós-ganglionares é diferente nos dois sistemas (Fig. 13.2). Assim, no sistema nervoso simpático, a fibra pré-ganglionar é curta e a pós-ganglionar é longa. Já no sistema nervoso parassimpático temos o contrário: a fibra pré-ganglionar é longa, a pós-ganglionar curta (Fig. 13.2);

d) *ultra-estrutura da fibra pós-ganglionar* — sabe-se que as fibras pós-ganglionares contêm vesículas sinápticas de dois tipos: granulares e agranulares, podendo as primeiras ser grandes ou pequenas (veja Capítulo 11, item 3.2). A presença de vesículas granulares pequenas é uma característica exclusiva das libras pós-ganglionares simpáticas (Fig. 13.3) e permite separá-las das parassimpáticas, nas quais predominam as vesículas agranulares. No sistema nervoso periférico, as vesículas granulares pequenas contêm noradrenalina e

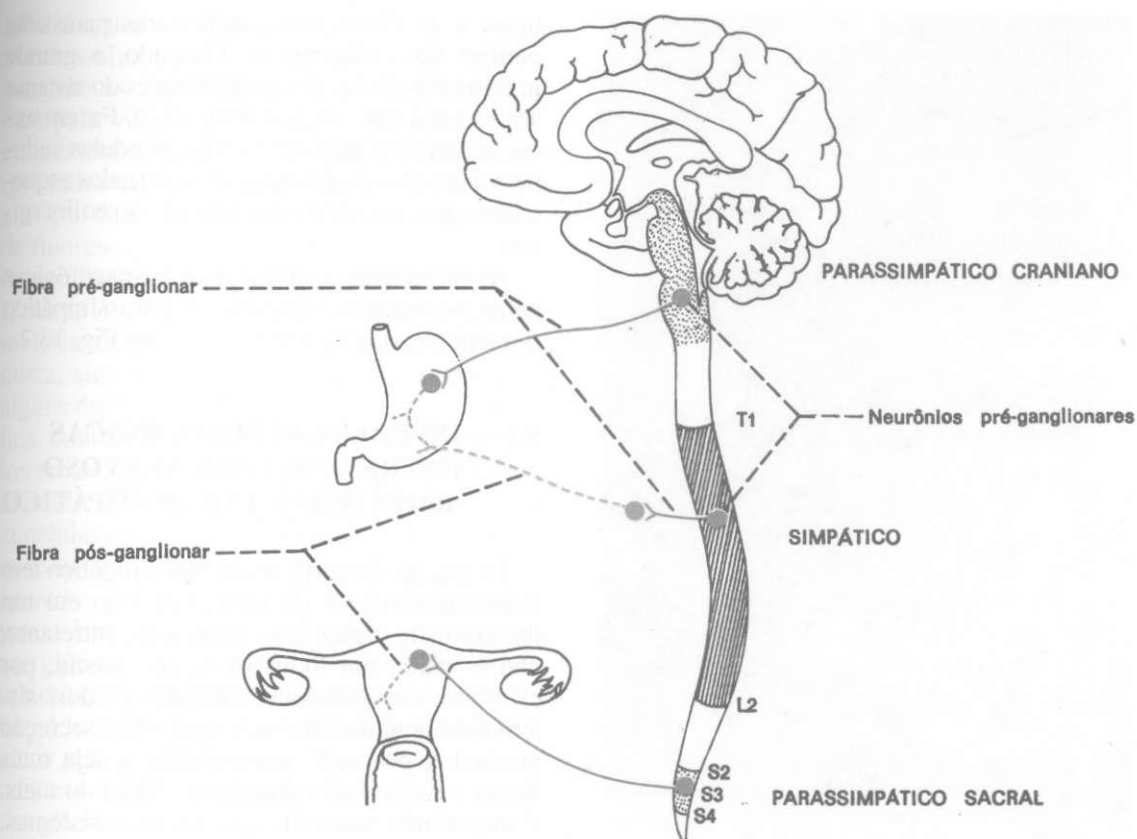



Fig. 13.2 — *Diferenças entre as sistemas simpático e parassimpático. Fibras adrenérgicas em vermelho c colinérgicas em verde.*

a maioria das vesículas agranulares contém acetilcolina. Essa diferença torna-se especialmente relevante para interpretação das diferenças farmacológicas entre fibras pós-ganglionares simpáticas e parassimpáticas, o que será feito a seguir.

5.2 — DIFERENÇAS FARMACOLÓGICAS ENTRE O SISTEMA NERVOSO SIMPÁTICO E PARASSIMPÁTICO. NEURO TRANSMISSORES

As diferenças farmacológicas dizem respeito à ação de drogas. Quando injetamos em um animal certas drogas, como adrenalina e noradrenalina, obtemos efeitos (aumento da pressão arterial, do ritmo cardíaco etc.) que se assemelham aos obtidos por ação do sistema nervoso simpático. Estas drogas que imitam a ação do sistema nervoso simpático são denominadas *simpaticomiméticas.* Existem também drogas, como acetilcolina, que imitam as ações do parassimpático e são chamadas *parassimpaticomiméticas.* A descoberta dos neurotransmissores veio explicar o modo de ação e as diferenças existentes entre estes dois tipos de drogas. Sabemos hoje que a ação da fibra nervosa sobre o efetuador (músculo ou glândula) se faz por liberação de um neurotransmissor, dos quais os mais importantes são a *acetilcolina* e a *noradrenalina* (veja Capítulo 11B, item 3.2). As fibras nervosas que liberam a acetilcolina são chamadas *colinérgicas* e as que liberam noradrenalina, *adrenérgicas.* A rigor estas últimas deveriam ser chamadas *noradrenérgicas,* mas inicialmente pensou-se que o principal neurotransmissor seria a adrenalina e o termo "adrenérgico" tornou-se clássico. Hoje sabemos que nos mamíferos é a noradrenalina e não a adrenalina o principal neurotransmissor nas fibras adrenérgicas. De modo geral, as ações destas duas substâncias são bastante semelhantes, mas existem diferenças importantes que serão vistas nas disciplinas de Farmacologia e Fisiologia.

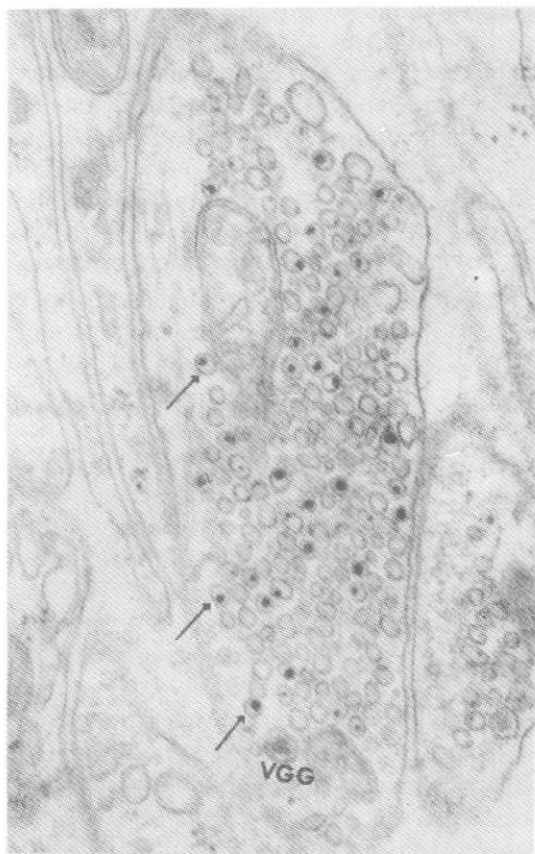



Fig. 13.3 — *Eletromicrografia dc uma fibra pós-ganglionar simpática (adrenérgica) contendo vesículas agranulares, vesículas granularespequenas (setas) c uma vesicular granular grande (VGG). Aumento dc 57.000 vezes. (Reproduzido dc Machado — 1967 —Stain Technology, 42:293-300.)*

Os sistemas simpático e parassimpático diferem no que se refere à disposição das fibras adrenérgicas e eolinérgicas. As fibras pré-ganglionares, tanto simpáticas como parassimpáticas, e as fibras pós-ganglionares parassimpáticas são colinérgicas. Contudo, a grande maioria das fibras pós-ganglionares do sistema simpático é adrenérgica (Fig. 13.2). Fazem exceção as fibras que inervam as glândulas sudoríparas e os vasos dos músculos estriados esqueléticos que, apesar de simpáticas, são colinérgicas.

As diferenças anatômicas e farmacológicas entre os sistemas simpático e parassimpático são sintetizadas na Tabela 12.1 e na Fig. 13.2

5.3 — DIFERENÇAS FISIOLÓGICAS ENTRE O SISTEMA NERVOSO SIMPÁTICO E PARASSIMPÁTICO

De um modo geral, o sistema simpático tem ação antagônica à do parassimpático em um determinado órgão. Esta afirmação, entretanto, não é válida em todos os casos. Assim, por exemplo, nas glândulas salivares os dois sistemas aumentam a secreção, embora a secreção produzida por ação parassimpática seja mais fluida e muito mais abundante. Além do mais, é importante acentuar que os dois sistemas, apesar de, na maioria dos casos, terem ações antagônicas, colaboram e trabalham harmonicamente na coordenação da atividade visceral, adequando o funcionamento de cada órgão às diversas situações a que é submetido o organismo. A ação do simpático e do parassimpático em um determinado órgão depende do modo de terminação das fibras pós-ganglionares de cada uma destas divisões do sistema nervoso autônomo, dentro do órgão. Técnicas modernas de microscopia eletrônica e histoquímica têm con-

Tabela 13.1
Diferenças Anatômicas e Farmaeológicas entre os Sistemas Simpático e Parassimpático

Critério	*Simpático*	*Parassimpático*
posição do neurônio pré-ganglionar	T1 a L2	tronco encefálico e S2 S3 S4
posição do neurônio pós-ganglionar	longe da víscera	próximo ou dentro da víscera
tamanho das fibras pré-ganglionares	curtas	longas
tamanho das fibras pós-ganglionares	longas	curtas
ultra-estrutura das fibras pós-ganglionares	com vesículas granulares pequenas	sem vesículas granulares pequenas
classificação farmacológica das fibras pós-ganglionares	adrenérgicas (a maioria)	eolinérgicas

tribuído para esclarecer este ponto. Com algumas ressalvas, pode-se identificar histoquimicamente as fibras parassimpáticas (colinérgicas) pela visualização da atividade de acetilcolinesterase (Fig. 13.4) e as libras simpáticas (predominantemente adrenérgicas) pela visualização direta da noradrenalina ao microscópio de fluorescência através de técnica desenvolvida por Eräkö e Falck (Figs. 11.5, 13.5). Estas técnicas confirmaram a idéia clássica de que na maioria dos órgãos a inervação autônoma é pista, simpática c parassimpática. Entretanto, alguns órgãos têm inervação puramente simpática, como as glândulas sudoríparas, os músculos eretores do pêlo e o corpo pineal de vários animais. Na maioria das glândulas endócrinas as células secretoras não são inervadas, uma vez que seu controle é hormonal e, neste caso, existe apenas a inervação simpática da parede dos vasos. Em algumas glândulas exócrinas, como nas glândulas lacrimais, a inervação parenquimatosa é parassimpática, limitando-se o simpático a inervar os vasos. Acreditava-se que este era o padrão também nas glândulas salivares, mas estudos recentes mostram que na maioria das glândulas salivares dos mamíferos o simpático, além de inervar os vasos, inerva as unidades secretoras juntamente com o parassimpático* (Figs. 13.4 e 13.5). Faz exceção a glândula sublingual do homem, na qual a inervação das unidades secretoras é feita exclusivamente por fibras parassimpáticas**.

Uma das diferenças fisiológicas entre o simpático c o parassimpático é que este tem ações sempre localizadas a um órgão ou setor do organismo, enquanto as ações do simpático, embora possam ser também localizadas, tendem a ser difusas, atingindo vários órgãos. A base anatômica desta diferença reside no fato de que os gânglios do parassimpático, estando próximo das vísceras, fazem com que o território de distribuição das libras pós-ganglionares seja necessariamente restrito. Além do mais, no sistema parassimpático uma fibra pré-ganglionar faz sinapse com um número relativamente pequeno de fibras pós-ganglionares. Já no sistema simpático os gânglios estão longe das vísceras e uma fibra pré-ganglionar faz sinapse com um grande número de fibras pós-ganglionares que se distribuem a territórios consideravelmente maiores. Em determinadas circunstâncias, todo o sistema simpático é ativado, produzindo uma *descarga em massa* na qual a medula da supra-renal é também ativada, lançando no sangue a adrenalina que age em todo o organismo. Temos, assim, uma *reação de alarme,* que ocorre em certas manifestações emocionais e situações de emergência (*síndrome de emergência de Cannon*), cm que o indivíduo deve estar preparado para lutar ou fugir (*to fight or to flight,* segundo Cannon). Como exemplo, poderíamos imaginar um indivíduo que é surpreendido no meio do campo por um boi bravo que avança contra ele. Os impulsos nervosos resultantes da visão do boi são levados ao cérebro resultando uma forma de emoção, o medo. Do cérebro, mais especialmente do hipotálamo, partem impulsos nervosos que descem pelo tronco encefálico e medula, ativando os

Fig. 13.4 — *Inervação parassimpática da glândula parótida do sagüi (Callithrix). Notam-se abundantes terminações nervosas colinérgicas em torno das unidades secretoras (método de Karnovsky e Roots para acetilcolinesterase).*

* *Para uma revisão sobre inervação de glândulas salivares, veja Garrett, J.R. — 1987 — "Innervation of salivary glands: neurohistological and functional aspects" in Screebny, L.M., ed. The salivary system. Boca Raton. Florida, C.R.C. Press Inc. pp. 69-93.*

** *Rossoni. R.B.; Machado. A.R.M. & Machado. C.R.S. — 1979 — Histochemical Journal, 11: 661-668.*

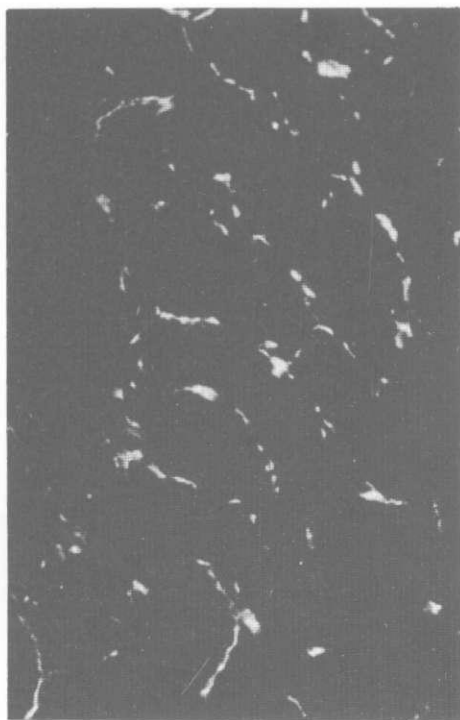



Fig. 13.5 — *Inervação simpática da glândula sublingual do macaco* **(Cebus).** *Notam-se abundantes terminações adrenérgicas em torno das unidades secretoras (microscopia de fluorescência, método de Falck).*

neurônios pré-ganglionares simpáticos da coluna lateral, de onde os impulsos nervosos ganham os diversos órgãos, iniciando a reação de alarme. Esta visa preparar o organismo para o esforço físico que será necessário para resolver a situação, o que, no exemplo, significa fugir ou brigar com o boi. Há maior transformação de glicogênio em glicose, que é lançada no sangue, aumentando as possibilidades de consumo de energia pelo organismo. Há, também, um aumento no suprimento sangüíneo nos músculos estriados esqueléticos, necessário para levar a estes músculos mais glicose e oxigênio, bem como para mais fácil remoção do CO_2. Este aumento das condições hemodinâmicas nos músculos se faz por:

a) aumento do ritmo cardíaco acompanhado de um aumento na circulação coronária;
b) vasoconstrição nos vasos mesentéricos e cutâneos (o indivíduo fica pálido), de modo a "mobilizar" maior quantidade de sangue para os músculos estriados.

Ocorre ainda aumento da pressão arterial, o que pode causar a morte, por exemplo, por ruptura de vasos cerebrais (diz-se que morreu de susto). Os brônquios dilatam-se, melhorando

Tabela 13.2
Funções do Simpático e do Parassimpático em Alguns Órgãos

Órgão	*Simpático*	*Parassimpático*
Íris	dilatação da pupila (midríase)	constrição da pupila (miose)
Glândula lacrimal	vasoconstrição; pouco efeito sobre a secreção	secreção abundante
Glândulas salivares	vasoconstrição; secreção viscosa e pouco abundante	vasodilatação; secreção fluida e abundante
Glândulas sudoríparas	secreção copiosa (fibras colinérgicas)	inervação ausente
Músculos eretores dos pêlos	ereção dos pêlos	inervação ausente
Coração	aceleração do ritmo cardíaco (taquicardia); dilatação das coronárias	diminuição do ritmo cardíaco (bradicardia) e constrição das coronárias
Brônquios	dilatação	constrição
Tubo digestivo	diminuição do peristaltismo e fechamento dos esfíncteres	aumento do peristaltismo e abertura dos esfíncteres
Bexiga	pouca ou nenhuma ação	contração da parede promovendo o esvaziamento
Genitais masculinos	vasoconstrição; ejaculação	vasodilatação; ereção
Glândula supra-renal	secreção de adrenalina (através de fibras pré-ganglionares)	nenhuma ação
Vasos sangüíneos do tronco e das extremidades	vasoconstrição	nenhuma ação; inervação possivelmente ausente

as condições respiratórias necessárias a uma melhor oxigenação do sangue e remoção do CO_2.

No bulbo ocular observa-se dilatação das pupilas. No tubo digestivo há diminuição do peristaltismo e fechamento dos esfíncteres. Na pele há ainda aumento da sudorese e ereção dos pêlos.

O estudo da situação descrita acima ajuda a memorizar as ações do sistema simpático e, por oposição, às do parassimpático em quase todos os órgãos. Pode-se lembrar ainda que nos órgãos genitais o simpático é responsável pelo fenômeno da ejaculação e o parassimpático pela ereção. Verifica-se, assim, que as ações dos dois sistemas são complexas, podendo o mesmo sistema ter ações diferentes nos vários órgãos. Por exemplo, o sistema simpático, que ativa o movimento cardíaco, inibe o movimento do tubo digestivo. Na Tabela 13.2 estão sintetizadas as ações dos sistemas simpático e parassimpático sobre os principais órgãos. Sabendo-se que as fibras pós-ganglionares do parassimpático são colinérgicas e as do simpático, com raras exceções, são adrenérgicas, o estudo da Tabela 13.2 dá uma idéia das ações da acetilcolina e da noradrenalina nos vários órgãos.

Capítulo 14

Sistema Nervoso Autônomo: Anatomia do Simpático, Parassimpático e dos Plexos Viscerais

O capítulo anterior tratou de alguns aspectos gerais da organização do sistema nervoso autônomo. Temos assim os elementos necessários para um estudo da topografia e organização anatômica do componente simpático e parassimpático deste sistema, assim como de seus plexos viscerais. Este estudo será feito dc uma maneira sucinta, sem dar ênfase as inúmeras variações existentes.

1.0 — SISTEMA NERVOSO SIMPÁTICO

1.1 — ASPECTOS ANATÔMICOS

Antes dc analisarmos o trajeto das fibras pré e pós-ganglionares no sistema simpático, faremos um estudo de suas principais formações anatômicas.

1.1.1 — Tronco Simpático (Fig. 14.1)

A principal formação anatômica do sistema simpático é o *tronco simpático,* formado por uma cadeia de gânglios unidos através de *ramos interganglionares.*

Cada tronco simpático estende-se, de cada lado, da base do crânio até o cóccix, onde termina unindo-se com o do lado oposto. Os gânglios do tronco simpático dispõem-se de cada lado da coluna vertebral em toda sua extensão e são *gânglios paravertebrais.* Na porção cervical do tronco simpático temos classicamente três gânglios: *cervical superior, cervical médio* e *cervical inferior.* O gânglio cervical médio falta em vários animais domésticos e, freqüentemente, não é observado no homem. Usualmente o gânglio cervical inferior está fundido com o primeiro torácico, formando o *gânglio cérvico-torácico* ou *estrelado.* O número de gânglios da porção torácica do tronco simpático é usualmente menor (10 a 12) que o dos nervos espinhais toráeicos, pois pode haver fusão de gânglios vizinhos. Na porção lombar, temos de três a cinco gânglios, na sacral de quatro a cinco e na coccígea apenas um gânglio, o *gânglio ímpar,* para o qual convergem e no qual terminam os dois troncos simpáticos de cada lado.

1.1.2 — Nervos Esplâncnicos e Gânglios Pré-Vertebrais (Figs. 14.1, 14.2, 14.5)

Da porção torácica do tronco simpático originam-se a partir de T5 os chamados *nervos esplâncnicos maior, menor* e *imo,* os quais têm trajeto descendente, atravessam o diafragma e penetram na cavidade abdominal, onde terminam nos chamados *gânglios pré-vertebrais.* Estes localizam-se anteriormente à coluna vertebral e à aorta abdominal, em geral próximo à origem dos ramos abdominais desta artéria, dos quais recebem o nome. Assim, existem: dois *gânglios celíacos,* direito e esquerdo, situados na origem do tronco celíaco; dois gânglios *aórtico-renais,* na origem das artérias renais; *um gânglio mesentérico superior* e outro *mesentérico inferior,* próximo à origem das artérias de mesmo nome. Os nervos esplâncnicos maior e menor terminam, respectivamente, nos gân-

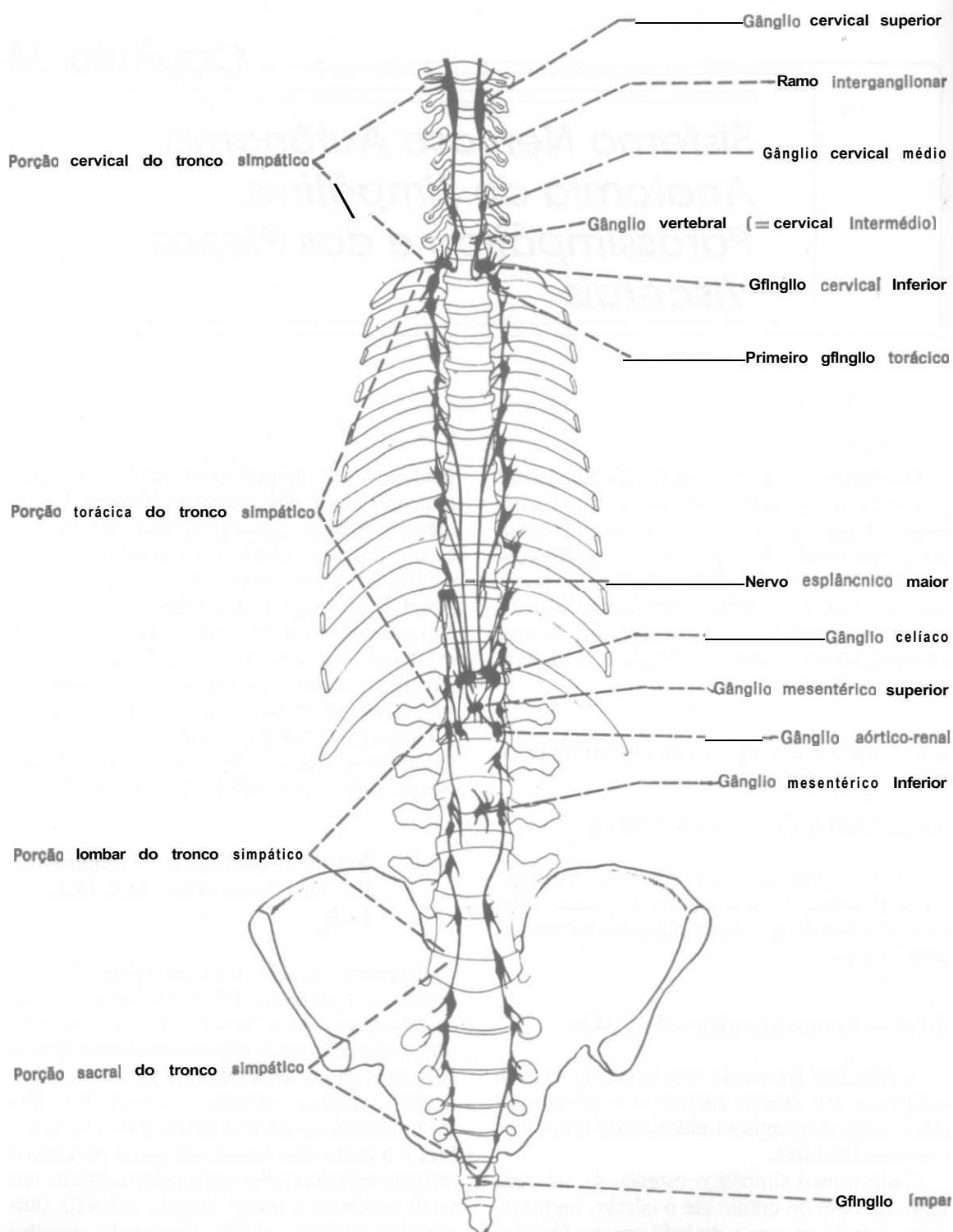



Fig. 14.1 — *Principáis formações anatômicas do sistema simpático em vista anterior. (Reproduzido de Dangelo e Fattini,* Anatomia Humana Básica. *Atheneu, Rio dc Janeiro.)*

glios celíaco e aórtico-renal (Fig. 14.5). Como será visto, apesar de os nervos esplâncnicos se originarem aparentemente de gânglios paravertebrais, eles são constituídos por libras pré-ganglionares, além de um número considerável de libras viscerais aferentes.

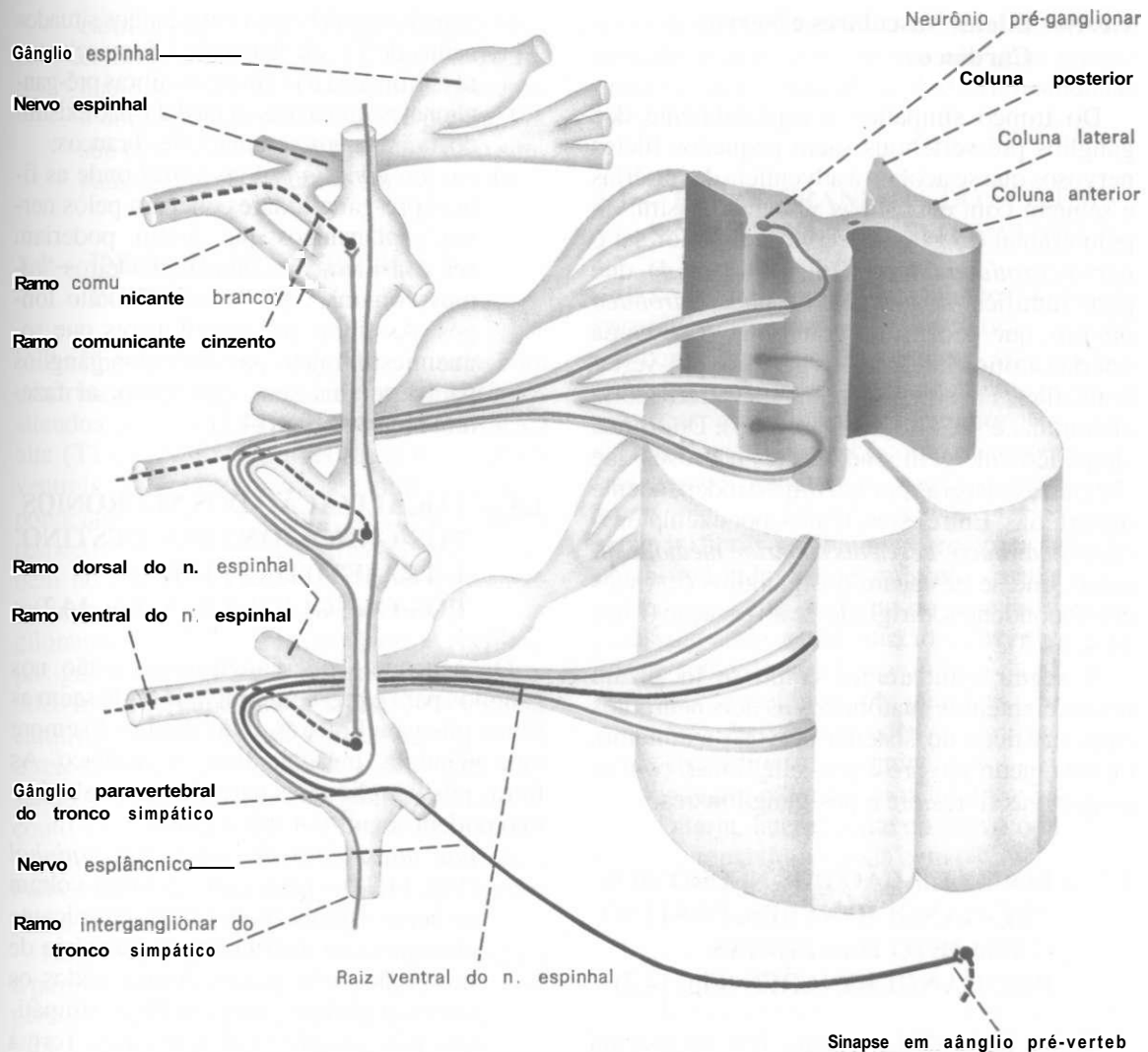



Fig. 14.2 — *Esquema do trajeto das fibras no sistema simpático (Linhas contínuas–fibras pré-ganglionares; linhas interrompidas = fibras pós-ganglionares.)*

1.1.3 — Ramos Comunicantes (Fig. 14.5)

Unindo o tronco simpático aos nervos espinhais existem filetes nervosos denominados ramos comunicantes, que são de dois tipos: *ramos comunicantes brancos* e *ramos comunicantes cinzentos.* Como será visto mais adiante, os ramos comunicantes brancos na realidade ligam a medula ao tronco simpático, sendo pois constituídos de fibras pré-ganglionares, além de fibras viscerais aferentes. Já os ramos comunicantes cinzentos são constituídos de fibras pós-ganglionares, que, sendo amielínicas, dão a este ramo uma coloração ligeiramente mais escura, o que pode ser observado principalmente em preparações não fixadas. Como os neurônios pré-ganglionares só existem nos segmentos medulares de T1 a L2, as fibras pré-ganglionares emergem somente destes níveis, o que explica a existência de ramos comunicantes brancos apenas nas regiões torácica e lombar alta. Já os ramos comunicantes cinzentos ligam o tronco simpático a todos os nervos espinhais. Como o número de gânglios do tronco simpático é freqüentemente menor que o número de nervos espinhais, de um gânglio pode emergir mais de um ramo comunicante cinzento, como ocorre, por exemplo, na região cervical, onde existem três gânglios para oito nervos cervicais

1.1.4 — Filetes Vasculares e Nervos Cardíacos

Do tronco simpático e especialmente dos gânglios pré-vertebrais saem pequenos filetes nervosos que se acolam à adventícia das artérias e seguem com elas até as vísceras. Assim, do pólo cranial do gânglio cervical superior sai o *nervo carotídeo interno* (Figs. 14.3, 14.4), que pode ramificar-se formando o *plexo carotídeo interno,* que penetra no crânio nas paredes da artéria carótida interna. Dos gânglios pré-vertebrais, filetes nervosos acolam-se à artéria aorta abdominal e seus ramos (Fig. 14.5). Do tronco simpático emergem ainda filetes nervosos que chegam às vísceras por um trajeto independente das artérias. Entre estes, temos, por exemplo, *os nervos cardíacos cervicais superior, médio,* e *inferior,* que se destacam dos gânglios cervicais correspondentes, dirigindo-se ao coração (Figs. 14.4, 14.5).

A seguir estudaremos como se localizam nestes elementos anatômicos os dois neurônios característicos do sistema nervoso autônomo, ou seja, neurônio pré e pós-ganglionar, com as respectivas fibras pré e pós-ganglionares.

1.2 — LOCALIZAÇÃO DOS NEURÔNIOS PRÉ-GANGLIONARES, DESTINO E TRAJETO DAS FIBRAS PRÉ-GANGLIONARES (Fig. 14.2)

Vimos no capítulo anterior que no sistema simpático o corpo do neurônio pré-ganglionar está localizado na coluna lateral da medula de T1 a L2. Daí saem as fibras pré-ganglionares pelas raízes ventrais, ganham o tronco do nervo espinhal e seu ramo ventral, de onde passam ao tronco simpático pelos ramos comunicantes brancos. Estas fibras terminam fazendo sinapse com os neurônios pós-ganglionares, que podem estar em três posições (Fig. 14.2):

a) *em um gânglio paravertebral situado no mesmo nível,* de onde a fibra saiu pelo ramo comunicante branco;
b) *em um gânglio paravertebral situado acima ou abaixo deste nível* e neste caso as fibras pré-ganglionares chegam ao gânglio pelos ramos interganglionares, que são formados por um grande número de tais fibras. Por este trajeto, no interior do próprio tronco simpático, as fibras pré-ganglionares chegam em gânglios situados acima de T1, ou abaixo de L2, ou seja, em níveis onde já não emergem libras pré-ganglionares simpáticas da medula não existindo, pois, ramos comunicantes brancos;
c) *em um gânglio pré-vertebral* onde as fibras pré-ganglionares chegam pelos nervos esplâncnicos que, assim, poderiam ser considerados como verdadeiros "ramos comunicantes brancos" muito longos. As fibras pré-ganglionares que seguem este trajeto passam pelos gânglios paravertebrais sem, entretanto, aí fazerem sinapse (Fig. 14.2).

1.3 — LOCALIZAÇÃO DOS NEURÔNIOS PÓS-GANGLIONARES, DESTINO E TRAJETO DAS FIBRAS PÓS-GANGLIONARES (Fig. 14.2)

Os neurônios pós-ganglionares estão nos gânglios para e pré-vertebrais, de onde saem as fibras pós-ganglionares, cujo destino é sempre uma glândula, músculo liso ou cardíaco. As libras pós-ganglionares para chegar a este destino podem seguir por três trajetos:

a) *por intermédio de um nervo espinhal* (Fig. 14.2) — neste caso, as fibras voltam ao nervo espinhal pelo ramo comunicante cinzento e se distribuem no território de inervação deste nervo. Assim, todos os nervos espinhais possuem fibras simpáticas pós-ganglionares que desta forma chegam aos músculos eretores dos pêlos, às glândulas sudoríparas e aos vasos cutâneos;
b) *por intermédio de um nervo independente* (Fig. 14.5) — neste caso, o nervo liga diretamente o gânglio à víscera. Aqui se situam, por exemplo, os nervos cardíacos cervicais do simpático;
c) *por intermédio de uma artéria* (Figs. 14.3, 14.4, 14.5)—as fibras pós-ganglionares acolam-se à artéria e a acompanham em seu território de vascularização. Assim, as fibras pós-ganglionares que se originam nos gânglios pré-vertebrais inervam as vísceras do abdome, seguindo na parede dos vasos que irrigam estas vísceras. Do mesmo modo, fibras pós-ganglionares originadas no gânglio cervical superior formam o nervo e o plexo

carotídeo interno e acompanham a artéria carótida interna em seu trajeto intracraniano, inervando os vasos intracranianos, o corpo pineal, a hipófise e a pupila. Por sua importância prática, a inervação simpática da pupila merece destaque.

1.4 — INERVAÇÃO SIMPÁTICA DA PUPILA (Fig. 14.3)

As libras pré-ganglionares relacionadas com a inervação da pupila originam-se de neurônios situados na coluna lateral da medula torácica alta (T1 e T2). Estas fibras saem pelas raízes ventrais, ganham os nervos espinhais correspondentes e passam ao tronco simpático pelos respectivos ramos comunicantes brancos. Sobem no tronco simpático e terminam estabelecendo sinapses com os neurônios pós-ganglionares do gânglio cervical superior. As fibras pós-ganglionares sobem no nervo e plexo carotídeo interno e penetram no crânio com a artéria carótida interna. Quando esta artéria atravessa o seio cavernoso, estas fibras se destacam, passando sem fazer sinapse pelo gânglio ciliar, que, como será visto, pertence ao parassimpático c através dos *nervos ciliares curtos* ganham o bulbo ocular, onde terminam formando um rico plexo no músculo dilatador da pupila.

Neste longo trajeto, as fibras simpáticas para a pupila podem ser lesadas por processos compressivos (tumores, aneurismas etc.) da região torácica ou cervical. Neste caso, a pupila do lado da lesão ficará contraída (miose) por ação do parassimpático, não contrabalançada pelo simpático. Este é o principal sinal da chamada *síndrome de Horner,* caracterizada pelos seguintes sinais observados do lado da lesão:

a) miose;
b) queda da pálpebra (ptose palpebral), por paralisia do músculo tarsal, que auxilia no levantamento da pálpebra;
c) vasodilatação cutânea e deficiência de sudorese na face, por interrupção da inervação simpática para a pele.

2.0 — SISTEMA NERVOSO PARASSIMPÁTICO

Vimos que os neurônios pré-ganglionares do sistema nervoso parassimpático estão situados no tronco encefálico e na medula sacral. Isto permite dividir este sistema em duas partes: uma craniana e outra sacral, que serão estudadas a seguir.

2.1 — PARTE CRANIANA DO SISTEMA NERVOSO PARASSIMPÁTICO

É constituída por alguns núcleos do tronco encefálico, gânglios e fibras nervosas cm relação com alguns nervos cranianos. Nos núcleos localizam-se os corpos dos neurônios pré-ganglionares, cujas fibras pré-ganglionares (classificadas no Capítulo 12 como eferentes viscerais gerais) atingem os gânglios através dos pares cranianos III, VII, IX e X. Dos gânglios saem as fibras pós-ganglionares para as glândulas, músculo liso e músculo cardíaco. Os núcleos da parte craniana do sistema nervoso parassimpático estão relacionados na Tabela 14.1 e serão descritos a propósito da estrutura do tronco encefálico. Os gânglios, com suas conexões, são representados na Fig. 14.4 e descritos sucintamente a seguir:

a) *gânglio ciliar* — situado na cavidade orbitária, lateralmente ao nervo óptico, relacionando-se ainda com o ramo oftálmico do trigêmeo. Recebe fibras pré-ganglionares do III par (Figs. 12.1, 14.4) e envia através dos *nervos ciliares curtos* fibras pós-ganglionares, que ganham o bulbo ocular e inervam os músculos ciliar e esfíncter da pupila (Fig. 14.3);
b) *gânglio pterigopalatino* — situado na fossa pterigopalatina, ligado ao ramo maxilar do trigêmeo. Recebe fibras pré-ganglionares do VII par c envia fibras pós-ganglionares para a glândula lacrimal;
c) *gânglio ótico* — situado junto ao ramo mandibular do trigêmeo, logo abaixo do forame oval. Recebe fibras pré-ganglionares do IX par e manda fibras pós-ganglionares para a parótida através do nervo *auriculotemporal;*
d) *gânglio submandibular* — situado junto ao nervo lingual, no ponto em que este se aproxima da glândula submandibular. Recebe fibras pré-ganglionares do VII par e manda fibras pós-ganglionares para as glândulas submandibular e sublingual.

É interessante notar que estes gânglios estão relacionados anatomicamente com ramos do

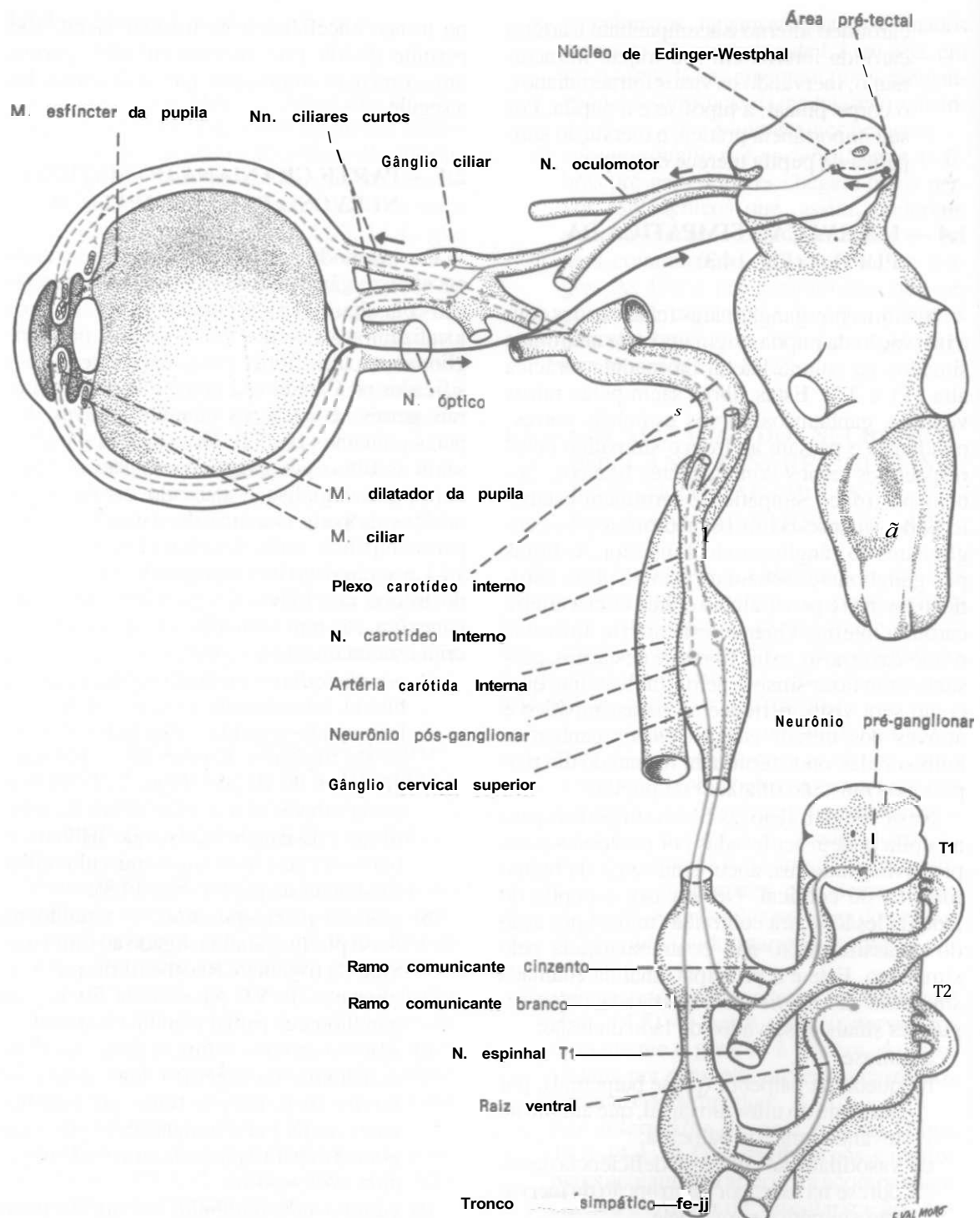



Fig. **14.3** — *Esquema dc inervação simpática (vermelho) e parassimpática (verde) da pupila. As setas indicam o trajeto do impulso nervoso no reflexo fotomotor.*

nervo trigêmeo. Este nervo, entretanto, ao emergir do crânio, não tem fibras parassimpáticas, recebendo-as durante seu trajeto através dc anastomoses com os nervos VII c IX.

Existe ainda na parede ou nas proximidades das vísceras, do tórax e do abdome, um grande número de gânglios parassimpáticos, em geral pequenos, às vezes constituídos por células iso-

ladas. Nas paredes do tubo digestivo eles integram o plexo submucoso (de Meissner) e o mioentérico (de Auerbach). Estes gânglios recebem fibras pré-ganglionares do vago e dão fibras pós-ganglionares curtas para as vísceras onde estão situadas. Convém acentuar que o trajeto da fibra pré-ganglionar até o gânglio pode ser muito complexo. Freqüentemente, ela chega ao gânglio por um nervo diferente daquele no qual saiu do tronco encefálico. Assim, as fibras pré-ganglionares que fazem sinapse no gânglio submandibular saem do encéfalo pelo nervo intermédio e passam, a seguir, para o nervo lingual por meio do nervo *corda do tímpano* (Fig. 14.4). Do mesmo modo, as fibras pré-ganglionares que se destinam ao gânglio pterigopalatino, relacionadas com a inervação das glândulas lacrimals, emergem do tronco encefálico pelo VII par (nervo intermédio) e, ao nível do gânglio geniculado. destacam-se deste nervo para, através do *nervo petroso maior* e do *nervo do canal pterigóideo*, chegar ao gânglio pterigopalatino.

A Tabela 14.1 sintetiza os principais dados relativos à posição dos neurônios pré-ganglionares, o trajeto das fibras pré-ganglionares e o destino das fibras pós-ganglionares na parte craniana do sistema nervoso parassimpático.

2.2 — PARTE SACRAL DO SISTEMA NERVOSO PARASSIMPÁTICO

Os neurônios pré-ganglionares estão nos segmentos sacrais em **S2, S3** e **S4.** As fibras pré-ganglionares saem pelas raízes ventrais dos nervos sacrais correspondentes, ganham o tronco destes nervos, dos quais se destacam para formar os *nervos esplâncnicos pélvicos* (Fig. 14.5). Por meio destes nervos atingem as vísceras da cavidade pélvica, onde terminam fazendo sinapse nos gânglios (neurônios pós-ganglionares) aí localizados. Os nervos esplâncnicos pélvicos são também denominados *nervos eretores,* pois estão ligados ao fenômeno da ereção. Sua lesão causa a impotência.

3.0 — PLEXOS VISCERAIS

3.1 — CONCEITO

Quanto mais próximo das vísceras, mais difícil se torna separar, por dissecação, as fibras do simpático e do parassimpático. Isto ocorre porque se forma nas cavidades torácica, abdominal e pélvica um emaranhado de filetes nervosos e gânglios, constituindo os chamados *plexos viscerais,* que não são puramente simpáticos ou parassimpáticos, mas que contêm elementos dos dois sistemas, além de fibras viscerais aferentes. Na composição destes plexos podemos, pois, ter os seguintes elementos: fibras simpáticas pré-ganglionares (raras) e pós-ganglionares; fibras parassimpáticas pré e pós-ganglionares; fibras viscerais aferentes e gânglios do parassimpático, além dos gânglios pré-vertebrais do simpático.

Tabela 14.1
Parte Craniana do Parassimpático

Posição do neurônio pré-ganglionar	*Nervo (fibra pré-ganglionar)*	*Posição do neurônio pós-ganglionar*	*Órgão inervado*
Núcleo de Edinger-Westphal	III par	gânglio ciliar	m. esfíncter da pupila e m. ciliar
Núcleo salivatório superior	VII par (n. intermédio)	gâuglio submandibular	gls. submandibular e sublingual
Núcleo salivatório inferior	IX par	gânglio ótico	glândula parótida
Núcleo lacrimal	VII par (n. intermédio)	gânglio pterigopalatino	glândula lacrimal
Núcleo dorsal do vago	X par	gânglios nas vísceras torácicas e abdominais	vísceras torácicas e abdominais

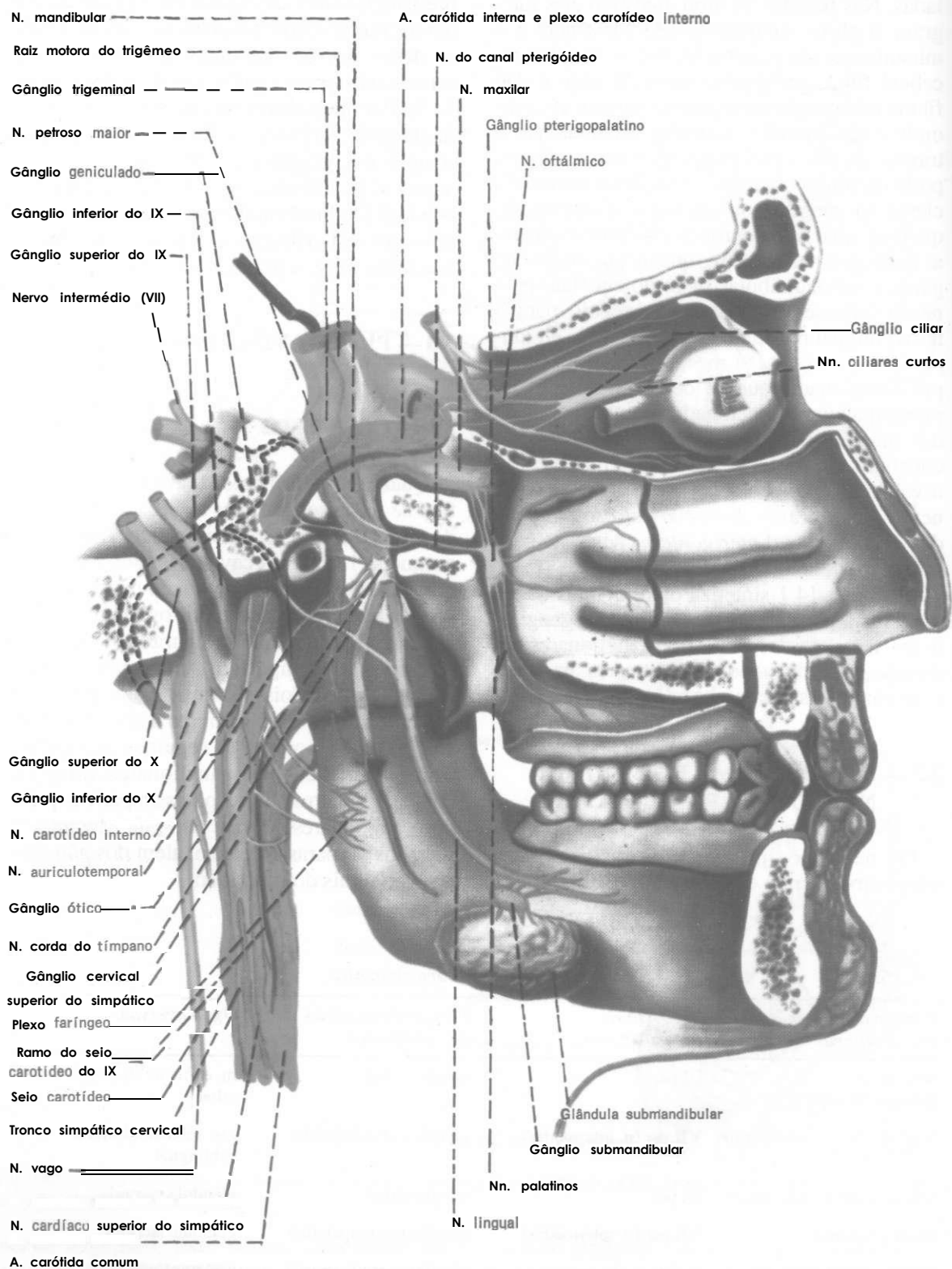



Fig. 14.4 — *Representação esquemática de alguns nervos cranianos e localização dos gânglios da parte craniana do sistema parassimpático (modificado de Netter).*

3.2 — SISTEMATIZAÇÃO DOS PLEXOS VISCERAIS

3.2.1 — Plexos da Cavidade Torácica. Inervação do Coração (Fig. 14.5)

Na cavidade torácica existem três plexos: *cardíaco, pulmonar* c *esofágico,* cujas fibras parassimpáticas se originam do vago e as simpáticas dos três gânglios cervicais e seis primeiros torácicos. Em vista da importância da inervação autônoma do coração, merece destaque o plexo cardíaco, intimamente relacionado ao pulmonar, em cuja composição entram principalmente os três nervos cardíacos cervicais do simpático (superior, médio e inferior) e os dois nervos cardíacos cervicais do vago (superior e inferior), além de nervos cardíacos, torácicos do vago e do simpático. Fato interessante é que o coração, embora tenha posição torácica, recebe sua inervação predominantemente da região cervical, o que se explica por sua origem na região cervical do embrião.

Os nervos cardíacos convergem para a base do coração, ramificam-se e trocam amplas anastomoses, formando o *plexo cardíaco,* no qual se observam numerosos gânglios do parassimpático. A este plexo, externo, correspondem plexos internos, subepicárdicos e subendocárdicos, formados de células ganglionares e ramos terminais das fibras simpáticas e parassimpáticas. A inervação autônoma do coração é especialmente abundante na região do nó sinoatrial, fato significativo, uma vez que sua função se exerce fundamentalmente sobre o ritmo cardíaco, sendo o simpático cárdio-acelerador e o parassimpático cárdio-inibidor.

Por sua grande importância clínica, cabem algumas considerações sobre o envolvimento da inervação autônoma do coração na doença de Chagas. Há muito tempo sabe-se que nessa doença há uma intensa destruição dos gânglios parassimpáticos do plexo cardíaco, levando a uma desnervação parassimpática do coração. Segundo alguns autores, essa desnervação sem uma correspondente desnervação simpática seria respoasável pelo desenvolvimento da chamada cardiopatia chagásica. Entretanto, com base em estudos da doença de Chagas experimental, sabe-se hoje que na fase aguda dessa doença ocorre também uma total destruição da inervação simpática do coração*. Contudo, um fato novo, até pouco tempo desconhecido**, é que em fases ulteriores da doença ocorre uma reinervação simpática e parassimpática do órgão, essa última por um processo de brotamento.

3.2.2 — Plexos da Cavidade Abdominal (Fig. 14.5)

Na cavidade abdominal situa-se o *plexo celíaco* (ou solar), o maior dos plexos viscerais, localizado na parte profunda da região epigástrica, adiante da aorta abdominal e dos pilares do diafragma, na altura do tronco celíaco. Aí se localizam os gânglios simpáticos, celíaco, mesentérico superior e aórtico-renais, a partir dos quais o plexo celíaco se irradia a toda a cavidade abdominal, formando plexos secundários ou subsidiários (Fig. **14.5).** Fato interessante é que a maioria dos nervos que contribuem com fibras pré-ganglionares para o plexo celíaco tem origem na cavidade torácica, sendo mais importantes:

a) os *nervos esplâncnicos maior* c *menor* — destacam-se de cada lado do tronco simpático de **T5** a **T12** e terminam fazendo sinapse nos gânglios pré-vertebrais;
b) o *tronco vagal anterior* e o *tronco vagal posterior* — oriundos do plexo esofágico, contendo, cada um, fibras oriundas dos nervos vago direito e esquerdo, que trocam amplas anastomoses no seu trajeto torácico.

As fibras parassimpáticas do vago passam pelos gânglios pré-vertebrais do simpático sem fazer sinapse e terminam estabelecendo sinapses com gânglios e células ganglionares das vísceras abdominais, destacando-se os que formam os plexos mioentérico (de Auerbach) c submueoso (de Meissner).

Estudos mais recentes mostram que a idéia clássica de que esses plexos são constituídos apenas de neurônios pós-ganglionares paras-

* *Machado, A.B.M.; Machado, C.R.S. & Gomes, C.B. — 1975 — Experientia 31: 1201-1203.*

** *Machado, C.R.S.: Machado, A.B.M. & Chiari, C.A. — 1978* — The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene *27 (1): 20-24. Machado, A.B.M.; Machado, C.R.S. & Gomez, M. V. — 1979* — Experimental Parasitology *47: 107-115.*

simpáticos colinérgicos não é válida. Sabe-se hoje que eles contêm vários outros tipos de neurônios, até mesmo neurônios sensitivos e interneurônios. Apresentam também grande diversidade de neurotransmissores e neuropeptídeos, destacando-se a acetilcolina, serotonina, GABA, substância P e VIP*. Do ponto de vista clínico, há evidência de que na doença de Chagas há intensa destruição de neurônios nos plexos mioentérico e submucoso, o que ocasiona grandes dilatações do esôfago e do intestino, conhecidas respectivamente como megaesôfago e megacolo.

Do plexo celíaco irradiam plexos secundários que se distribuem às vísceras da cavidade abdominal, acompanhando, via de regra, os vasos.

Os plexos secundários pares são: renal, supra-renal e testicular (ou útero-ovárico); e os plexos secundários ímpares são: hepático, lienal, gástrico, pancreático, mesentérico superior, mesentérico inferior e aórtico-abdominal.

3.2.3 — Plexos da Cavidade Pélvica (Fig. 14.5)

As vísceras pélvicas são inervadas pelo *plexo hipogástrico,* no qual se distinguem uma porção superior, *plexo hipogástrico superior,* e uma porção inferior, *plexo hipogástrico inferior.* O plexo hipogástrico superior situa-se adiante do promontório, entre as artérias ilíacas direita e esquerda. Continua cranialmente com o plexo aórtico-abdominal e corresponde ao chamado *nervo presacral* dos cirurgiões e ginecologistas, o qual, na realidade, é formado por vários filetes nervosos. O plexo hipogástrico é também denominado *plexo pélvico.* Este, na realidade, é uma formação par, distinguindo-se um *plexo pélvico direito* e outro *esquerdo,* dispostos de cada lado nas paredes do reto, do útero e da bexiga, continuando cranialmente com o plexo hipogástrico superior através dos *nervos hipogástricos esquerdo e direito.* Para formação dos plexos hipogástricos, contribuem principalmente:

a) filetes nervosos provenientes do plexo aórtico-abdominal, os quais contêm, além de fibras viscerais aferentes, fibras simpáticas pós-ganglionares** provenientes, principalmente, do gânglio mesentérico inferior;
b) os nervos esplâncnicos pélvicos, trazendo fibras pré-ganglionares da parte sacral do parassimpático, as quais terminam fazendo sinapse em numerosos gânglios situados nas paredes das vísceras pélvicas;
c) filetes nervosos que se destacam de gânglios lombares e sacrais do tronco simpático (contingente menos importante).

Entre as vísceras inervadas pelo plexo pélvico merece destaque a bexiga, cuja inervação é de grande importância clínica.

3.2.4 — Inervação da Bexiga

As fibras viscerais aferentes da bexiga ganham a medula através do sistema simpático ou do parassimpático. No primeiro caso, sobem pelos nervos hipogástricos e plexo hipogástrico superior, conduzindo impulsos nervosos que atingem os segmentos toráeicos e lombares baixos da medula (T10 — L2). Já as fibras que acompanham o parassimpático seguem pelos nervos esplâncnicos pélvicos, terminando na medula sacral através das raízes dorsais dos nervos S2, S3 e S4. Ao chegarem na medula, as fibras aferentes viscerais provenientes da bexiga ligam-se a vias ascendentes que terminam no cérebro, conduzindo impulsos que se manifestam sob a forma de plenitude vesical. As fibras aferentes que chegam à região sacral fazem parte do *arco reflexo da micção,* cuja parte eferente está a cargo da inervação parassimpática da bexiga. Esta inicia-se nos neurô-

---

* *Levando em conta que a organização dos plexos mioentérico e submucoso é muito mais complexa que a dos gânglios do sistema simpático e parassimpático e que eles possuem muitos neurônios que não se ligam diretamente ao sistema nervoso central, alguns autores consideram esses plexos como constituindo uma terceira divisão do sistema nervoso autônomo, denominada sistema nervoso entérico. (Para uma revisão desse assunto, veja Gershon, M.D. — 1981 — "The enteric nervous system".* Annual. Review Neuroscience *4 pp.227-272 e Jessen, K.R. — 1987 —* Trends in Neurosciences *10 (6): 255-262.)*

** *Sabe-se hoje que o plexo pélvico recebe também fibras simpáticas pré-ganglionares que terminam fazendo sinapse em gânglios simpáticos situados na parede de órgãos do sistema genital (canal deferente, próstata etc.). A existência destes gânglios contendo neurônios pós-ganglionares "curtos" constitui uma exceção à regra de que os gânglios do simpático se situam longe das vísceras e as fibras pós-ganglionares são longas. Para maiores detalhes sobre o assunto, veja Sjöstrand, N.O. — 1965 —* Acta Physiologia Scandinavica, *65: supl. 257.*

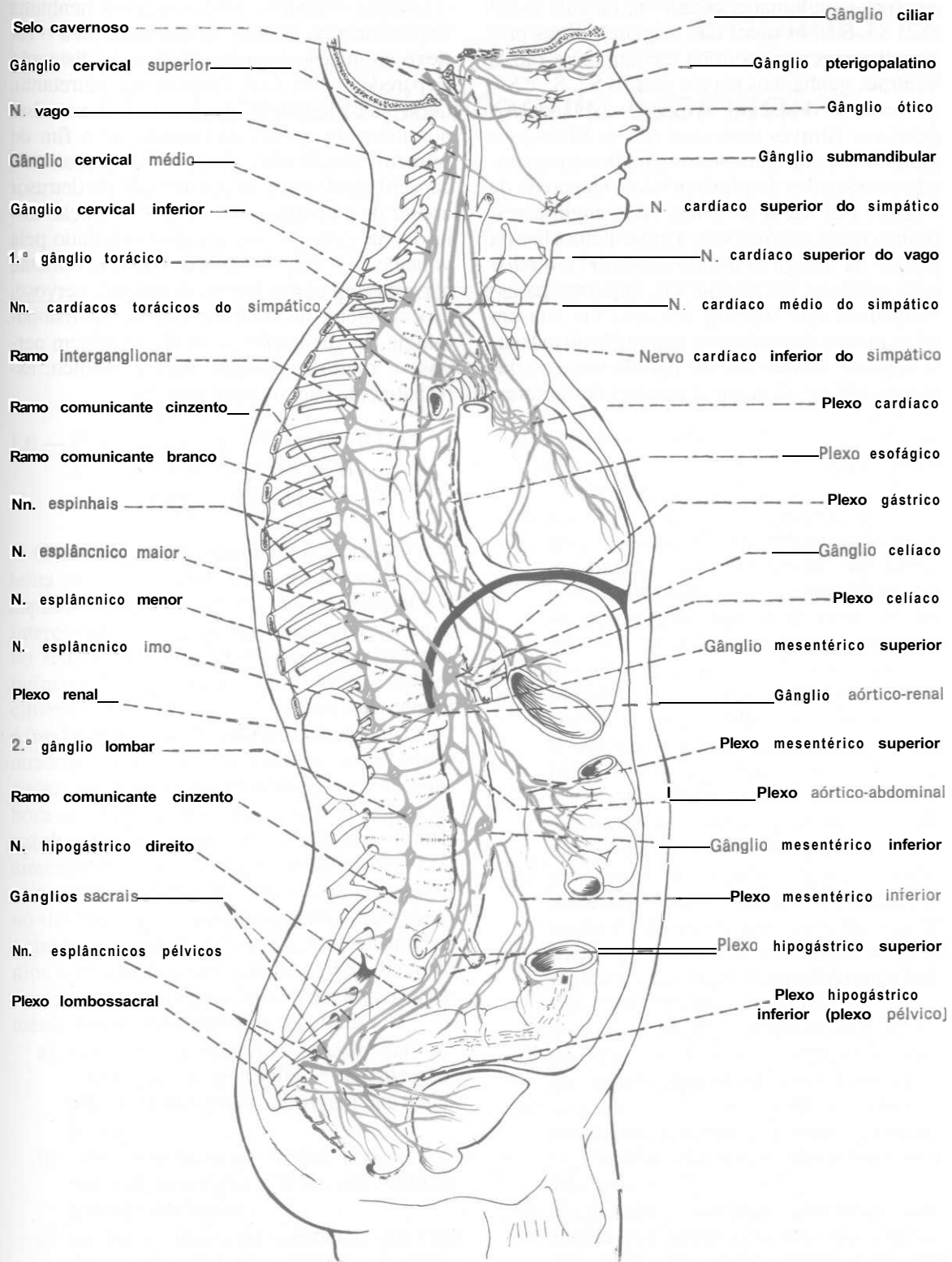



Fig. 14.5 — *Disposição geral do sistema nervoso simpático (cm vermelho) c parassimpático (cm azul). (Modificado dc Netter.)*

nios pré-ganglionares situados na medula sacral (S2, S3, S4), os quais dão origem a fibras pré-ganglionares que saem da medula pelas raízes ventrais, ganham os nervos sacrais S2, S3 e S4, de onde se destacam os nervos esplâncnicos pélvicos. Através destes nervos, as fibras pré-ganglionares dirigem-se aos gânglios parassimpáticos situados no plexo pélvico, na parede da bexiga. Daí saem as fibras pós-ganglionares. muito curtas, que inervam a musculatura lisa da parede da bexiga *(músculo detrusor)* e o *músculo esfíncter da bexiga.* Os impulsos parassimpáticos que seguem por esta via causam relaxamento do esfíncter e contração do músculo detrusor, fenômenos que permitem o esvaziamento vesical. Segundo a maioria dos autores, o sistema simpático tem pouca ou nenhuma importância na micção. O estímulo para o reflexo da micção é representado pela distensão da parede vesical. Convém acentuar, entretanto, que a micção como ato puramente reflexo existe normalmente apenas na criança até o fim do primeiro ano de vida. Daí em diante aparece a capacidade de impedir a contração do detrusor apesar de a bexiga estar cheia, e a micção torna-se, até certo ponto, um ato controlado pela vontade. As funções vesicais são gravemente alteradas em certas lesões do sistema nervoso, especialmente da medula. O estudo da fisiopatologia das disfunções vesicais dc origem nervosa é muito importante para o médico, especialmente para os neurologistas.

capítulo 15

Estrutura da Medula Espinhal

1.0 — INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA ESTRUTURA DO SISTEMA NERVOSO CENTRAL

O estudo da estrutura microscópica do sistema nervoso central, que será iniciado neste capítulo, é uma das partes mais importantes e interessantes da neuroanatomia, uma vez que, no sistema nervoso, estrutura e função estão intimamente ligadas. Por outro lado, o conhecimento da estrutura do sistema nervoso central é fundamental para a compreensão dos diversos quadros clínicos que resultam das lesões e processos patológicos que podem acometê-lo. Embora o estudo destes aspectos seja objeto da patologia e da neurologia, o simples conhecimento da estrutura funcional do sistema nervoso central permite ao aluno localizar lesões no sistema nervoso central com bases nos sinais e sintomas que delas decorrem. Antes de iniciarmos o estudo da estrutura da medula, deverão ser conceituados alguns termos que serão largamente usados nos capítulos seguintes.

a) *substância cinzenta* — tecido nervoso constituído de neuróglia, corpos de neurônios e fibras predominantemente amielínicas;
b) *substância branca* — tecido nervoso formado de neuróglia e libras predominantemente mielínicas;
c) *núcleo* — massa de substância cinzenta dentro de substância branca. ou grupo delimitado de neurônios com aproximadamente a mesma estrutura e mesma função;
d) *córtex* — substância cinzenta que se dispõe em uma camada fina na superfície do cérebro e do cerebelo;
e) ***tracto*** — feixe de libras nervosas com aproximadamente a mesma origem, mesma função e mesmo destino. As fibras podem ser mielínicas ou amielínicas. Na denominação de um tracto. usam-se dois nomes: o primeiro indicando a origem e o segundo a terminação das fibras. Decidimos manter esses nomes sempre separados por hífen. Pode, ainda, haver um terceiro nome indicando aposição do tracto. Assim, tracto córtico-espinhal lateral indica um tracto cujas libras se originam no córtex, terminam na medula espinhal c se localiza no funículo lateral da medula.
f) *fascículo* — usualmente o termo se refere a um tracto mais compacto. Entretanto, o emprego do termo fascículo em vez de tracto para algumas estruturas se deve mais à tradição que a uma diferença fundamental existente entre eles:
g) *lemnisco* — o termo significa fita. É empregado para alguns feixes de fibras sensitivas que levam impulsos nervosos ao tálamo;
h) *funículo* — o termo significa cordão e é usado para a substância branca da medula. Um funículo contém vários tractos ou fascículos;
i) ***decussação*** — formação anatômica constituída por libras nervosas que cruzam obliquamente o plano mediano e que têm aproximadamente a mesma direção (Fig. 15.1). O exemplo mais conhecido é a decussação das pirâmides;

j) *comissura* — formação anatômica constituídas por fibras nervosas que cruzam perpendicularmente o plano mediano e que têm, por conseguinte, direções diametralmente opostas (Fig. 15.1). O exemplo mais conhecido é o corpo caloso;
k) *fibras de projeção* — fibras de projeção de uma determinada área ou órgão do sistema nervoso central são fibras que saem fora dos limites desta área ou deste órgão.
l) *fibras de associação* — fibras dc associação de uma determinada área ou órgão do sistema nervoso central são fibras que associam pontos mais ou menos distantes desta área ou deste órgão sem, entretanto, abandoná-lo.

2.0 — ALGUNS ASPECTOS DA ORGANIZAÇÃO MACROSCÓPICA E MICROSCÓPICA DA MEDULA

Como já foi visto no Capítulo 4 (Fig. 4.2), na superfície da medula existem os sulcos lateral anterior, lateral posterior, intermédio posterior, mediano posterior e a fissura mediana anterior. A substância cinzenta é circundada pela branca, constituindo, de cada lado, os funículos anterior, lateral e posterior, este último compreendendo os fascículos grácil c cuneiforme. Entre a fissura mediana anterior e a substância cinzenta localiza-se a comissura branca, local de cruzamento de fibras. Na substância cinzenta, notam-se as colunas anterior, lateral e posterior.

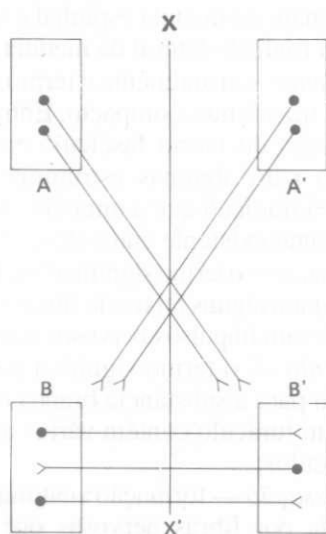



Fig. 15.1 — *Diferença entre decussação e comissura. As fibras originadas em A e A' cruzam o plano mediano (XX') formando uma decussação: as originadas cm B e B' cruzam este plano formando uma comissura.*

Existem diferenças entre os vários níveis de medula no que diz respeito à forma, localização c tamanho destes elementos. Assim, a quantidade de substância branca em relação à cinzenta é tanto maior quanto mais alto o nível considerado. Ao nível dos intumescimentos lombares e cervicais. a coluna anterior é mais dilatada: a coluna lateral só existe de T1 até L2. Estes e outros critérios permitem identificar aproximadamente o nível dc uma secção de medula.

3.0 — SUBSTÂNCIA CINZENTA DA MEDULA

3.1 — DIVISÃO DA SUBSTÂNCIA CINZENTA DA MEDULA

A substância cinzenta da medula tem a forma de borboleta ou de um H. Existem vários critérios para a divisão desta substância cinzenta. Um deles (Fig. 15.2) considera duas linhas que tangenciam os contornos anterior e posterior do ramo horizontal do H, dividindo a substância cinzenta em *coluna anterior, coluna posterior* e *substância cinzenta intermédia.* Por sua vez, a substância cinzenta intermédia pode ser dividida em *substância cinzenta intermédia central* c *substância cinzenta intermédia lateral* por duas linhas ântero-posteriores. como mostra a Fig. 15.2. De acordo com este critério. a coluna lateral faz parte da substância cinzenta intermédia lateral. Na coluna anterior. distinguem-se uma cabeça e uma base, esta em conexão com a substância cinzenta intermédia lateral. Na coluna posterior observa-se de diante para trás uma base, um pescoço e um ápice. Neste último existe uma área constituída por tecido nervoso translúcido, rico em células neurogliais e pequenos neurônios. a *substância gelatinosa* (de Rolando) — Fig. 15.4.

3.2 — CLASSIFICAÇÃO DOS NEURÔNIOS MEDULARES

Os elementos mais importantes da substância cinzenta da medula são seus neurônios, que têm sido classificados dc várias maneiras. A classificação adotada baseia-se, com algumas

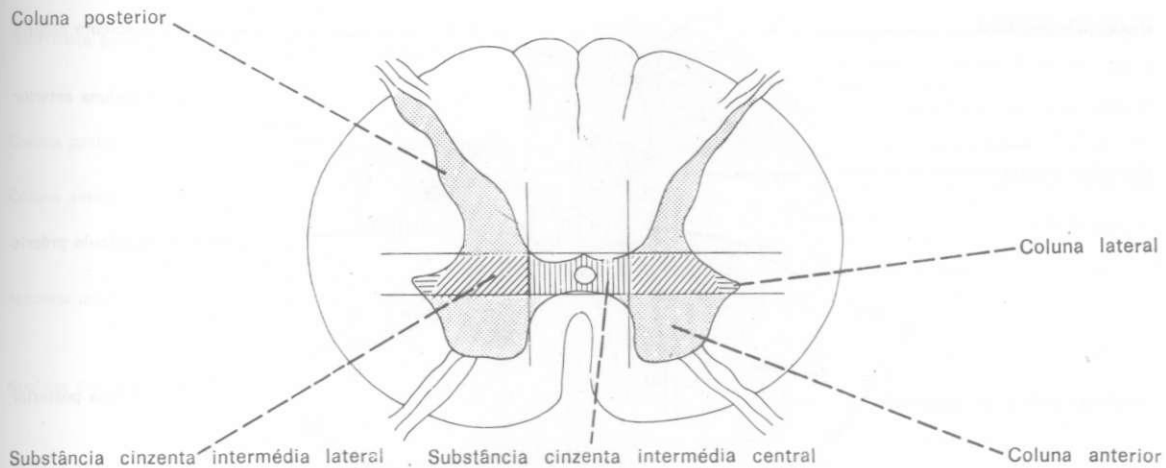
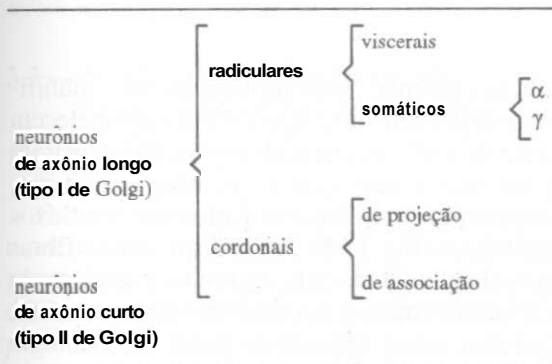



Fig. 15.2 — *Divisão da substância cinzenta da medula.*

modificações, na classificação proposta por Cajal e está esquematizada abaixo:

3.2.1 — Neurônios Radiculares

Os neurônios radiculares recebem este nome porque seu axônio, muito longo, sai da medula para constituir a raiz ventral.

Neurônios radiculares viscerais são os neurônios pré-ganglionares do sistema nervoso autônomo, cujos corpos localizam-se na substância cinzenta intermédia lateral, de T1 a L2 (coluna lateral), ou de S2 a S4. Destinam-se à inervação de músculos lisos, cardíacos ou glândulas.

Os neurônios radiculares somáticos destinam-se à inervação de músculos estriados esqueléticos e têm seu corpo localizado na coluna anterior. São também denominados *neurônios motores primários, neurônios motores inferiores, via motora final comum de Sherrington.* Costuma-se distinguir na medula dos mamíferos dois tipos de neurônios radiculares somáticas: alfa e gama*. Os *neurônios alfa* são muito grandes e seu axônio, bastante grosso, destina-se à inervação de fibras musculares que contribuem efetivamente para a contração dos músculos. Estas fibras são extrafusais, ou seja localizam-se fora dos fusos neuromusculares. Cada neurônio alfa, juntamente com as fibras musculares que ele inerva, constitui uma *unidade motora.* Os *neurônios gama* são menores e possuem axônios mais finos (fibras eferentes gama), responsáveis pela inervação motora das fibras intrafusais. O papel dos motoneurônios gama na regulação da sensibilidade dos fusos neuromusculares já foi discutido (veja Capítulo 11, item 2.1.2d). Eles recebem influência de vários centros supra-segmentares relacionados com a atividade motora e sabe-se hoje que, para a execução de um movimento voluntário, eles são ativados simultaneamente com os motoneurônios alfa (coativação alfa-gama). Isso permite que os fusos neuromusculares continuem a enviar informações proprioceptivas ao sistema nervoso central, mesmo durante a contração muscular desencadeada pela atividade dos neurônios alfa.

3.2.2 — Neurônios Cordonais

Neurônios cordonais são aqueles cujos axônios ganham a substância branca da medula, onde tomam direção ascendente ou descenden-

* *Existem também neurôniosbeta, cujos axônios se bifurcam para inervar tanto as fibras extra como as intrafusais. Estes neurônios, comuns cm anfíbios e répteis, ocorrem em número reduzido cm alguns mamíferos (Berndt, J. M.; Oswaldo Cruz, E. and Rocha-Miranda, C.E.— 1969* — **Journal of Comparative Neurology.** *136: 4191422).*

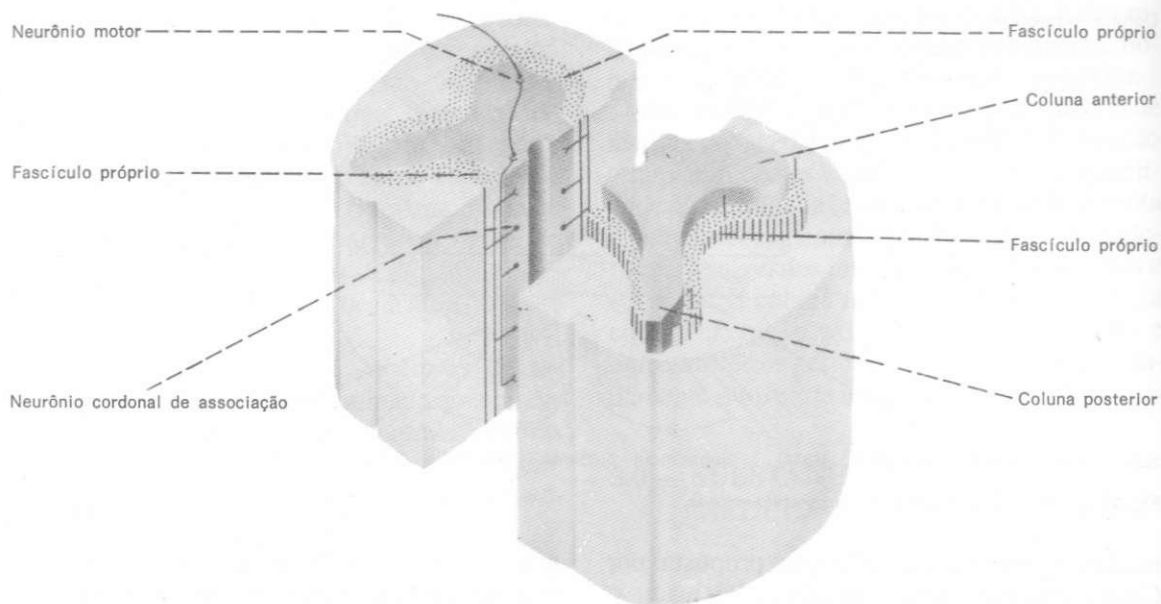



Fig. 15.3 — *Esquema de formação dos fascículos próprios da medula.*

te, passando a constituir as fibras que formam os funículos da medula. O axônio de um neurônio cordonal pode passar ao funículo situado do mesmo lado onde se localiza o seu corpo, ou do lado oposto. No primeiro caso. diz-se que ele é homolateral (ou ipsilateral). no segundo caso. heterolateral (ou contralateral). Os *neurônios cordonais de projeção* possuem um axônio ascendente longo, que termina fora da medula (tálamo, cerebelo etc.), integrando as *vias ascendentes da medula* (Fig. 15.5). Os *neurônios cordonais de associação* possuem um *axônio* que, ao passar para a substância branca. se bifurca em um ramo ascendente e outro descendente. ambos terminando na substância cinzenta da própria medula. Constituem. pois. um mecanismo dc integração de segmentos medulares. situados em níveis diferentes. permitindo a realização de *reflexos intersegmentares na medula* (veja Capítulo 1. item 2.0). As libras nervosas formadas por estes neurônios dispõem-se em torno da substância cinzenta. onde formam os chamados *fascículos próprios* (Fig. 15.3). existentes nos três funículos da medula.

3.2.3 — Neurônios de Axônio Curto (ou Internunciais)

Em razão de seu pequeno tamanho, o axônio destes neurônios permanece sempre na substância cinzenta. Seus prolongamentos ramificam-se próximo ao corpo celular e estabelecem conexão entre as fibras aferentes. que penetram pelas raízes dorsais e os neurônios motores. interpondo-se, assim, em vários arcos reflexos medulares (Fig. 15.5). Além disto. muitas fibras que chegam à medula trazendo impulsos do encéfalo terminam em neurônios internunciais. que têm assim importante papel na fisiologia medular. Um tipo especial de neurônio de axônio curto encontrado na medula é a *célula de Renshaw*, localizada na porção medial da coluna anterior. Os impulsos nervosos provenientes da célula de Renshaw inibem os neurônios motores. Admite-se que os axônios dos neurônios motores, antes de deixarem a medula, emitem um ramo colateral recorrente que volta e termina estabelecendo sinapse com uma célula de Renshaw. Esta, por sua vez, faz sinapse com o próprio neurônio motor que emitiu o colateral. Assim. os impulsos nervosos que saem pelos neurônios motores são capazes de inibir o próprio neurônio através do ramo recorrente e da célula de Renshaw.* Este mecanismo é importante para a fisiologia dos neurônios motores.

* *Descobriu-se que o neurotransmissor da maioria das células de Renshaw é a glicina. substância cuja ação e inibida pela estricnina. Isso explica as fortes convulsões que se observam em casos dc envenenamento por estrienina quando cessa completamente a ação inibidora das células de Renshaw sobre os neurônios motores.*

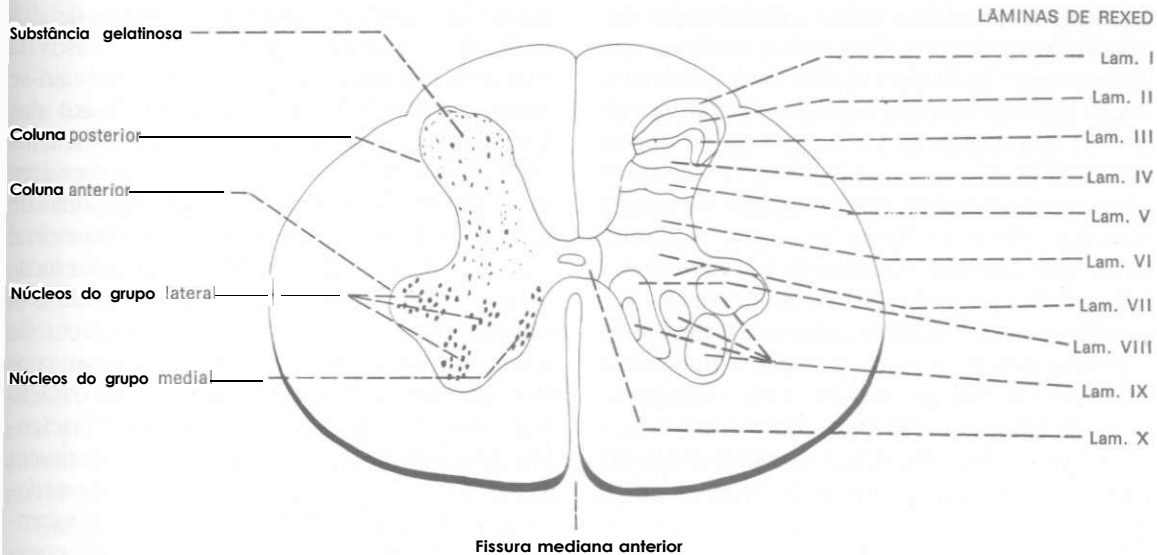



Fig. 15.4 — *Secção da medula espinhal ao nível de L5 mostrando, do lado direito, as lâminas de Rexed e do lado esquerdo, alguns núcleos medulares.*

3.3 —NÚCLEOS E LÂMINAS DA SUBSTÂNCIA CINZENTA DA MEDULA

Os neurônios medulares não se distribuem de maneira uniforme na substância cinzenta, mas agrupam-se em núcleos ora mais, ora menos definidos. Estes núcleos são, usualmente, representados em cortes, mas não se pode esquecer que, na realidade, formam colunas longitudinais dentro das três colunas da medula. Alguns núcleos, entretanto, não se estendem ao longo de toda a medula. A sistematização dos núcleos da medula é complicada e controvertida, e o estudo que se segue é extremamente simplificado. Os vários núcleos descritos na coluna anterior podem ser agrupados em dois grupos: medial e lateral, de acordo com sua posição (Fig. 15.4). Os *núcleos do grupo medial* existem em toda a extensão da medula e os neurônios motores aí localizados inervam a musculatura relacionada com o esqueleto axial através de fibras que emergem principalmente através dos ramos dorsais dos nervos espinhais. Já os núcleos do grupo lateral dão origem a fibras que inervam a musculatura relacionada com o esqueleto apendicular, ou seja, os músculos dos membros superior e inferior. Em função disso, estes núcleos aparecem apenas nas regiões das intumescências cervical e lombar onde se originam respectivamente os plexos braquial e lombo-sacral. No grupo lateral, os neurônios motores situados mais medialmente inervam a musculatura proximal dos membros, enquanto os situados mais lateralmente inervam a musculatura distal dos membros, ou seja, os músculos intrínsecos e extrínsecos da mão e do pé.

Na coluna posterior são mais evidentes dois núcleos: o *núcleo torácico* (= núcleo dorsal) e a *substância gelatinosa.* O primeiro, evidente apenas na região torácica e lombar alta (L1 — L2), relaciona-se com a propriocepção inconsciente e contém neurônios cordonais de projeção, cujos axônios vão ao cerebelo.

A substância gelatinosa tem uma organização bastante complexa. Ela recebe fibras sensitivas que entram pela raiz dorsal e nela funciona o chamado *portão da dor,* um mecanismo que regula a entrada no sistema nervoso de impulsos dolorosos. Para o funcionamento do portão da dor são importantes as fibras serotoninérgicas que chegam à substância gelatinosa vindas do tronco encefálico. O portão da dor será estudado com detalhes no Capítulo 29, item 4.1.

A substância cinzenta da medula foi objeto de exaustivos estudos de citoarquitetura realizada por Rexed*, cujos trabalhos mudaram as

* *Rexed, B. — 1964 — "Some aspects of the cytoarchitectonics and synaptology of the spinal cord".* Progress in Brain Research *II: 58-92.*

concepções existentes sobre a distribuição dos neurônios medulares. Este autor verificou que os neurônios medulares se distribuem em extratos ou lâminas bastante regulares, as *lâminas de Rexed*, numeradas de I a X, no sentido dorsoventral (Fig. 15.5). As lâminas I a IV constituem uma área receptora, onde terminam os neurônios das fibras exteroceptivas que penetram pelas raízes dorsais. As lâminas V e VI recebem informações proprioceptivas. A lâmina IX, que no adulto não é contínua, contém os neurônios, correspondendo, pois, aos núcleos da coluna anterior. As lâminas de Rexed modernamente têm sido muito usadas em estudos sobre a medula. pois vieram simplificar a grande confusão existente sobre os núcleos medulares.

4.0 — SUBSTÂNCIA BRANCA DA MEDULA

4.1 — IDENTIFICAÇÃO DE TRACTOS E FASCÍCULOS

As fibras da substância branca da medula agrupam-se em tractos e fascículos que formam verdadeiros caminhos, ou vias, por onde passam os impulsos nervosos que sobem e descem. A maneira de formação, a função e a posição destes feixes de fibras nervosas serão estudadas a seguir. Convém notar, entretanto, que não existem na substância branca septos delimitando os diversos tractos e fascículos, e as fibras da periferia de um tracto se dispõem lado a lado com as do tracto vizinho. Contudo, existem métodos que permitiram aos neuroanatomistas localizar a posição dos principais tractos e fascículos. Um deles baseia-se no fato de que, durante o desenvolvimento fetal e pós-natal, as fibras que compõem os tractos mielinizam-se em épocas diferentes, mas todas as fibras de um mesmo tracto mielinizam-se aproximadamente na mesma época. Estudando-se a medula em diferentes idades e verificando-se com técnicas histológicas para mielina quais os tractos e fascículos já mielinizados, pode-se saber as suas localizações. Faz-se, assim, uma verdadeira "dissecação embriológica" dos funículos medulares.

Outro método baseia-se no fato.de que, quando seccionamos uma fibra mielínica, o segmento distal sofre degeneração walleriana. Seccionando-se experimentalmente a medula de animais ou, no homem, aproveitando-se casos de secção resultantes de acidentes, observam-se áreas de degeneração acima ou abaixo das lesões. Elas correspondem aos diversos tractos e fascículos cujas fibras foram lesadas. Se a área de degeneração se localiza acima do ponto de secção, concluímos que o tracto degenerado é ascendente, ou seja, o corpo do neurônio localiza-se em algum ponto abaixo da lesão e o impulso nervoso sobe pelas fibras do tracto. Se a área de degeneração localiza-se abaixo, concluímos, por raciocínio semelhante, que o tracto é descendente. Temos, assim, tractos e fascículos descendentes e ascendentes, que constituem as *vias ascendentes e vias descendentes da medula.* Existem ainda vias que contêm fibras ascendentes e descendentes misturadas e que constituem as *vias de associação da medula.* Estas vias são formadas pelos prolongamentos dos neurônios cordonais de associação que, em conjunto, formam os fascículos próprios da medula (Fig. 15.3). A seguir serão estudadas as principais vias ascendentes e descendentes da medula.

4.2 — VIAS DESCENDENTES

As vias descendentes são formadas por fibras que se originam no córtex cerebral ou em várias áreas do tronco encefálico e terminam fazendo sinapse com os neurônios medulares. Algumas terminam nos neurônios pré-ganglionares do sistema nervoso autônomo, constituindo as vias descendentes viscerais.

Outras terminam fazendo sinapse com neurônios da coluna posterior e participam dos mecanismos que regulam a penetração dos impulsos sensoriais no sistema nervoso central. Contudo, o contingente mais importante termina direta ou indiretamente nos neurônios motores somáticos, constituindo as vias motoras descendentes somáticas. Essas vias dividem-se em dois grupos: *vias piramidais* e *vias extrapiramidais.* As primeiras recebem esse nome porque, antes de penetrar na medula, passam pelas pirâmides bulbares, enquanto as segundas não passam pelas pirâmides*.

* *Estamos usando esses termos no sentido apenas topográfico em relação às pirâmides, sem implicar a aceitação da existência dos sistemas piramidal e extrapiramidal, cuja manutenção não mais se justifica (veja discussão no Capítulo 30, item 3.1).*

4.2.1 — Vias Piramidais

As vias piramidais na medula compreendem dois tractos, *córtico-espinhal anterior* e *córtico-espinhal lateral.* Ambos originam-se no córtex cerebral e conduzem impulsos nervosos aos neurônios da coluna anterior da medula, relacionando-se com estes neurônios diretamente ou através de neurônios internunciais. No trajeto do córtex até o bulbo as fibras dos tractos córtico-espinhal lateral e córtico-espinhal anterior constituem um só feixe, o *tracto córtico-espinhal.* Ao nível da *decussão das pirâmides,* uma parte das fibras deste tracto se cruza e vai constituir o *tracto córtico-espinhal lateral* da medula (Figs. 16.1, 30.3).

Entretanto, um número de fibras (10-25%) não se cruza, contínua em sua posição anterior e constitui o *tracto córtico-espinhal anterior.*

Tradicionalmente se afirma que o tracto córtico-espinhal anterior termina ao nível da medula torácica média. Entretanto, o número de fibras desse tracto é muito variável e freqüentemente ele se estende até à medula sacral*.

O tracto córtico-espinhal lateral é denominado também *piramidal cruzado* e o córtico-espinhal anterior, *piramidal direto.* Entretanto, as fibras do tracto córtico-espinhal anterior, pouco antes de terminar, cruzam o plano mediano e terminam em neurônios motores situados do lado oposto àquele no qual entraram na medula Portanto, em última análise, os dois tractos são cruzados, o que significa que o córtex de um hemisfério cerebral comanda os neurônios motores situados na medula do lado oposto, visando a realização de movimentos voluntários. Assim, a motricidade voluntária é cruzada sendo este um dos fatos mais importantes da neuroanatomia. É fácil entender, assim, que uma lesão do tracto córtico-espinhal acima da decussação das pirâmides causa paralisia da metade oposta do corpo. O tracto córtico-espinhal anterior é muito menor que o lateral, sendo menos importante do ponto de vista clínico. Suas fibras vão penetrando na coluna anterior e ele termina, mais ou menos, ao nível da metade da medula torácica Já o tracto córtico-espinhal lateral atinge até a medula sacral e. como suas libras vão pouco a pouco terminando na substância cinzenta, quanto mais baixo, menor o número delas. O tracto córtico-espinhal lateral localiza-se no funículo lateral da medula e o córtico-espinhal anterior no funículo anterior, próximo da fissura mediana anterior (Fig. 15.6).

4.2.2 — Vias Extrapiramidais

São os seguintes os tractos extrapiramidais da medula**: *tecto-espinhal, vestíbulo-espinhal, rubro-espinhal* e *retículo-espinhal.*

Os nomes referem-se aos locais onde eles se originam, que são, respectivamente: o tecto mesencefálico (coliculo superior); os núcleos vestibulares, situados na área vestibular do IV ventriculo; o núcleo rubro, que será visto a propósito da estrutura do mesencéfalo; e a chamada formação reticular, estrutura que ocupa uma grande extensão do tronco encefálico. Todos esses tractos terminam na medula em neurônios internunciais, através dos quais eles se ligam aos neurônios motores da coluna anterior e assim exercem sua função motora. O tracto rubro-espinhal, bem desenvolvido na maioria dos animais, liga-se aos neurônios motores situados lateralmente na coluna anterior, os quais, como vimos, controlam os músculos responsáveis pela motricidade da parte distal dos membros (músculos intrínsecos e extrínsecos da mão e do pé). Neste sentido ele se assemelha ao tracto córtico-espinhal lateral que também controla esses músculos. Entretanto, durante a evolução, a par de um aumento no ttactocórtico-espinhal, houve diminuição do tracto rubro-espinhal, que, no homem, ficou reduzido a um número muito pequeno de fibras***. Os demais tractos extrapiramidais — vestíbulo-espinhal, retículo espinhal e tecto-espinhal — ligam-se aos neurônios motores situados na parte medial da coluna anterior e, deste modo, controlam a musculatura axial, ou seja, do tronco, assim como a musculatura proximal dos membros. Os tractos

---

* *(Veja Nathan, P.W.: Smith, M.C.& Deacon, P., 1990* — Brain *113: 303-324.)*

** *Esta relação dos tractos extrapiramidais da medula foi simplificada para fins didáticos. Na realidade, existem dois tractos vestíbulo-espinhais, medial e lateral, ambos situados no funículo anterior. Também são dois os tractos retículo-espinhais: o anterior, dc origem pontina, situado no funículo anterior: c o lateral, de origem bulbar, situado no funículo lateral. Por outro lado, não foi confirmada a existência do tracto olivo-espinhal freqüentemente descrito na medula.*

*** *Ver discussão cm Nathan, P.W. á Smith, CM. — 1982 —* Brain *105: 223-269.*

vestíbulo-espinhal e retículo-espinhal são importantes para a manutenção do equilíbrio e da postura básica, sendo que este último controla também a motricidade voluntária da musculatura axial e proximal. Já o tracto tecto-espinhal parece ter funções mais limitadas, relacionadas com certos reflexos em que a movimentação decorre de estímulos visuais.

O conhecimento da posição dos tractos extrapiramidais na medula não tem importância clínica e por isso não foi enfatizada.

4.3 — VIAS ASCENDENTES

As fibras que formam as vias ascendentes da medula relacionam-se direta ou indiretamente com as fibras que penetram pela raiz dorsal, trazendo impulsos aferentes de várias partes do corpo. Os componentes funcionais destas fibras já foram estudados no Capítulo 11, item 2.0, a propósito dos nervos espinhais. Cabe agora um estudo morfológico de como estas fibras penetram na medula.

4.3.1 — Destino das Fibras da Raiz Dorsal (Fig. 15.5)

Cada filamento radicular da raiz dorsal, ao ganhar o sulco lateral posterior, divide-se em dois grupos de fibras: um grupo lateral e outro medial. As fibras do *grupo lateral* são mais finas e dirigem-se ao ápice da coluna posterior, enquanto as fibras do *grupo medial* dirigem-se à face medial da coluna posterior. Antes de penetrar na coluna posterior, cada uma destas fibras se bifurca, dando um ramo ascendente e outro descendente sempre mais curto, além de um grande número de ramos colaterais mais finos. Todos estes ramos terminam na coluna posterior da medula, exceto um grande contingente de fibras do grupo medial, cujos ramos ascendentes muito longos terminam no bulbo. Estes ramos constituem as fibras dos *fascículos grácil* e *cuneiforme,* que ocupam os funículos posteriores da medula e terminam fazendo sinapse nos *núcleos grácil* e *cuneiforme,* situados, respectivamente, nos tubérculos do núcleo grácil e do núcleo cuneiforme do bulbo.

A seguir são relacionadas as diversas possibilidades de sinapse que podem fazer as fibras e os colaterais da raiz dorsal ao penetrar na substância cinzenta da medula (Figs. 2.8, 15.5). Convém acentuar que os impulsos nervosos que chegam por uma única fibra podem seguir mais de um dos caminhos abaixo relacionados:

a) *sinapse com neurônios motores, na coluna anterior* — para a realização de arcos reflexos monossinápticos (arco reflexo simples), sendo mais conhecidos os reflexos de estiramento ou miotáticos, dos quais o reflexo patelar é um exemplo (Fig. 1.5);

b) *sinapse com os neurônios internunciais (Golgi II)* — para a realização de arcos reflexos polissinápticos, que envolvem pelo menos um neurônio internuncial, cujo axônio se liga ao neurônio motor. Um exemplo é o reflexo de flexão ou de retirada, no qual um estímulo doloroso causa a retirada reflexa da parte afetada. Os reflexos polissinápticos podem ser muito complexos, envolvendo um grande número de neurônios internunciais;

c) *sinapse com os neurônios cordonais de associação* — para a realização de arcos reflexos intersegmentares, dos quais um exemplo é o reflexo de coçar (veja Capítulo 1, item 2);

d) *sinapse com os neurônios pré-ganglionares* — para a realização de arcos reflexos viscerais;

e) *sinapse com neurônios cordonais de projeção* — cujos axônios vão constituir as vias ascendentes da medula, através das quais os impulsos que entram pela raiz dorsal são levados ao tálamo e ao cerebelo.

4.3.2 — Sistematização das Vias Ascendentes da Medula

Do que já foi exposto no item anterior, conclui-se que as fibras que formam as vias ascendentes da medula são ramos ascendentes de fibras da raiz dorsal (fascículos grácil e cuneiforme) ou axônios de neurônios cordonais de projeção situados na coluna posterior. Em qualquer destes casos as fibras ascendentes reúnem-se em tractos e fascículos com características e funções próprias, que serão estudadas a seguir, analisando-se separadamente os funículos posterior, anterior e lateral.

4.3.2.1 — Vias Ascendentes do Funículo Posterior (Figs. 15.5, 15.6)

No funículo posterior existem dois fascículos, *grácil,* situado medialmente, e *cuneiforme,* situado lateralmente, separados pelo *septo intermédio posterior.* Como já foi visto, estes fascículos são formados pelos ramos ascendentes longos das fibras do grupo medial da raiz dorsal, que sobem no funículo para terminar no bulbo. Na realidade, estas fibras nada mais são que os prolongamentos centrais dos neurônios sensitivos situados nos gânglios espinhais.

O *fascículo grácil* inicia-se no limite caudal da medula e é formado por fibras que penetram na medula pelas raízes coccígea, sacrais, lombares e torácicas baixas, terminando no núcleo grácil, situado no tubérculo do núcleo grácil do bulbo (Figs. 16.2, 29.3). Conduz, portanto, impulsos provenientes dos membros inferiores e da metade inferior do tronco e pode ser identificado em toda a extensão da medula.

O *fascículo cuneiforme,* evidente apenas a partir da medula torácica alta, é formado por fibras que penetram pelas raízes cervicais e torácicas superiores, terminando no núcleo cuneiforme, situado no tubérculo do núcleo cuneiforme do bulbo (Figs. 16.2, 29.3). Conduz, portanto, impulsos originados nos membros superiores e na metade superior do tronco (Fig. 29.3).

Quando as fibras das raízes dorsais penetram na medula para constituir os fascículos grácil e cuneiforme, elas ocupam inicialmente a parte lateral do funículo posterior; contudo, no seu trajeto ascendente elas são pouco a pouco deslocadas medialmente por fibras que penetram por raízes situadas mais acima (Fig. 29.3). Entende-se, assim, por que as fibras do fascículo cuneiforme, que penetram nos segmentos mais altos da medula, ocupam a metade lateral do funículo posterior, enquanto as do fascículo grácil, que penetram na metade inferior da medula, ocupam a metade medial deste funículo. Entretanto, do ponto de vista funcional, não existe diferença entre os fascículos grácil e cuneiforme; sendo assim, o funículo posterior da medula é funcionalmente homogêneo, conduzindo impulsos nervosos relacionados com:

a) *propriocepção consciente* ou sentido de posição e de movimento *(cinestesia)* — permite, sem o auxílio da visão, situar uma parte do corpo ou perceber o seu movimento. A perda da propriocepção consciente, que ocorre, por exemplo, após lesão do funículo posterior, faz com que o indivíduo seja incapaz de localizar, sem ver, a posição de seu braço ou de sua perna. Ele será também incapaz de dizer se o neurologista fletiu ou estendeu o seu hálux ou o seu pé;
b) *tato discriminativo* (ou *epicrítico*)— permite localizar e descrever as características táteis de um objeto. Testa-se tocando a pele simultaneamente com as duas pontas de um compasso c verificando-se a maior distância dos dois pontos tocados, que é percebido como se fosse um ponto só (discriminação dc dois pontos);
c) *sensibilidade vibratória* — percepção de estímulos mecânicos repetitivos. Testa-se tocando a pele de encontro a uma saliência óssea com um diapasão, quando o indivíduo deverá dizer se o diapasão está vibrando ou não. A perda da sensibilidade vibratória é um dos sinais precoces da lesão do funículo posterior;
d) *estereognosia* — capacidade de perceber com as mãos a forma e o tamanho de um objeto.

A estereognosia provavelmente depende de receptores tanto para tato como para propriocepção.

4.3.2.2 — Vias Ascendentes do Funículo Anterior (Figs. 15.5, 15.6)

No funículo anterior localiza-se o *tracto espino-talâmico anterior,* formado por axônios de neurônios cordonais de projeção situados na coluna posterior. Estes axônios cruzam o plano mediano e fletem-se cranialmente para formar o *tracto espino-talâmico anterior* (Fig. 15.5) cujas fibras nervosas terminam no tálamo c levam impulsos de pressão e tato leve *(tato protopático).* Esse tipo de tato, ao contrário daquele que segue pelo funículo posterior, é pouco discriminativo e permite apenas de maneira grosseira a localização da fonte do estímulo tátil. A sensibilidade tátil tem, pois. duas vias na medula, uma direta, no funículo posterior e outra cruzada, no funículo anterior. Por isto, dificilmente se perde toda a sensibilidade tátil nas lesões medulares, exceto, é óbvio, naquelas em que há transecção do órgão.

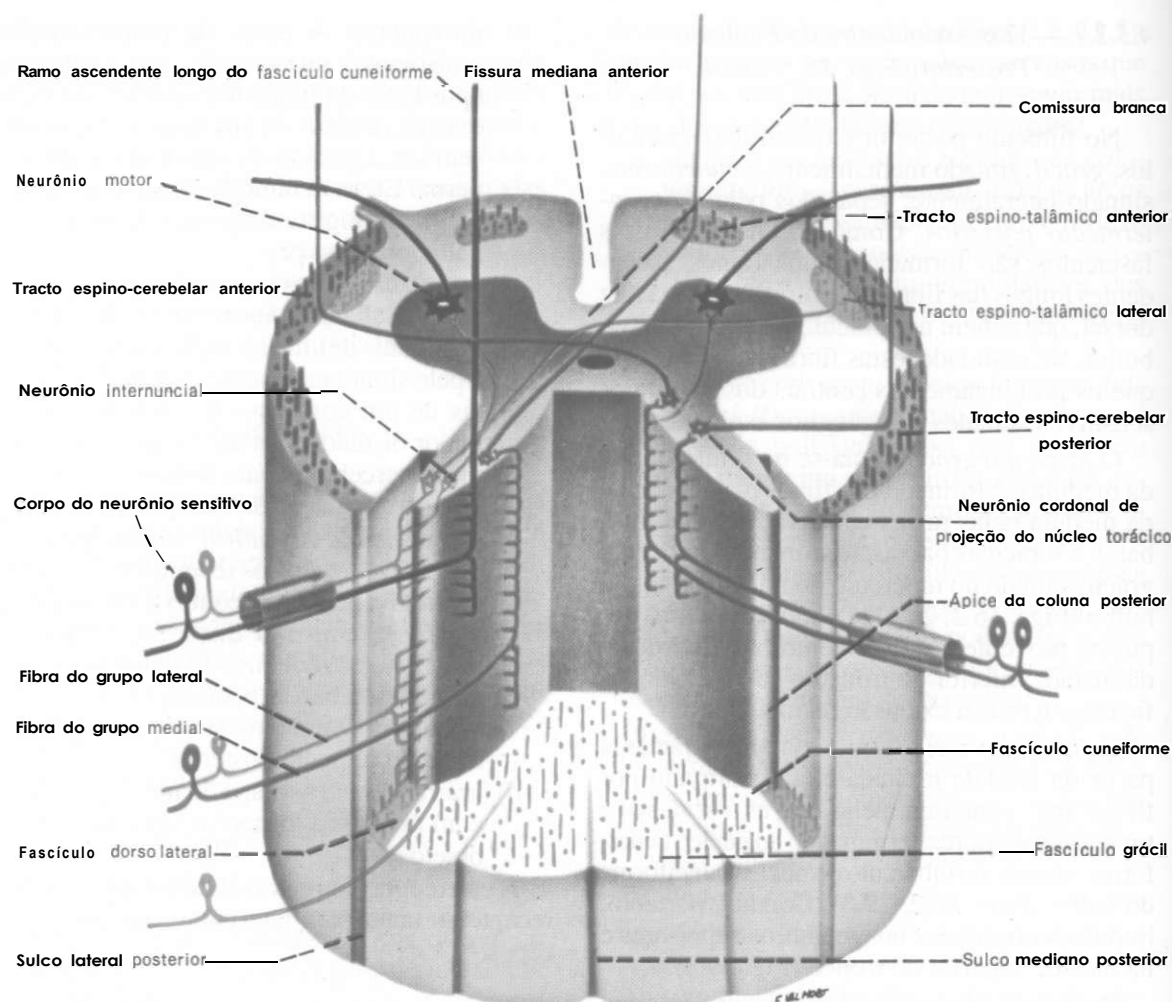



Fig. 15.5 — *Penetração das fibras da raiz dorsal e formação das principais vias ascendentes da medula. O esquema não leva em conta o fato de que os ramos de bifurcação das fibras da raiz dorsal podem percorrer vários segmentos antes de terminarem na substância cinzenta.*

4.3.2.3 — Vias Ascendentes do Funículo Lateral (Figs. 15.5 e 15.6)

a) *tracto espino-talâmico lateral** — neurônios cordonais de projeção situados na coluna posterior emitem axônios que cruzam o plano mediano na comissura branca, ganham o funículo lateral onde se fletem cranialmente para constituir o tracto espino-talâmico lateral (Fig. 15.5), cujas fibras terminam no tálamo (Fig. 29.1). O tamanho deste tracto aumenta à medida que ele sobe na medula pela constante adição de novas fibras.

O tracto espino-talâmico lateral conduz impulsos de temperatura e dor. Tendo em vista a grande significação que a dor tem em medicina, pode-se entender que o tracto espino-talâmico lateral é de grande importância para o médico. Em certos casos de dor decorrente principalmente dc câncer, aconselha-se o tratamento cirúrgico por secção do tracto espino-talâmico lateral, técnica denominada de *cordotomia* (Cap. 21, item 3.7).

* *Alguns autores admitem a existência dc apenas um tracto espino-talâmico responsável pela condução de impulsos táteis, térmicos c dolorosos. Embora alguns estudos eletrofisiológicos cm animai justifiquem este ponto dc vista, no homem, como assinala Nauta c Feirtag* (Fundamental Neuroanatomy, *Freeman & Co, New York, 1986), existem dados clínicos que permitem distinguir um tracto espino-talâmico anterior, predominantemente tátil, c outro espino-talâmico lateral, predominantemente nociceptivo c termoceptivo.*

O tracto espino-talâmico lateral constitui a principal via através da qual os impulsos de temperatura e dor chegam ao cérebro. Junto dele seguem também as fibras espino-reticulares, que também conduzem impulsos dolorosos. Essas fibras fazem sinapse na chamada formação reticular do tronco encefálico, onde se originam as fibras retículo-talâmicas, constituindo-se assim a via espino-retículo-talâmica. Essa via conduz impulsos relacionados com dores do tipo crônico e difuso (dor em queimação), enquanto a via espino-talâmica se relaciona com as dores agudas e bem localizadas da superfície corporal;

b) *tracto espino-cerebelar posterior* — neurônios cordonais de projeção situados no núcleo torácico da coluna posterior emitem axônios que ganham o funículo lateral do mesmo lado, fletindo-se cranialmente para formar o tracto espino-cerebelar posterior (Fig. 15.5). As fibras deste tracto penetram no cerebelo pelo pedúnculo cerebelar inferior (Figs. 16.5, 22.7), levando impulsos de propriocepção inconsciente originados em fusos neuromusculares e órgãos neurotendinosos;

c) *tracto espino-cerebelar anterior* — neurônios cordonais de projeção situados na coluna posterior e na substância cinzenta intermédia emitem axônios que ganham o funículo lateral do mesmo lado ou do lado oposto, fletindo-se cranialmente para formar o tracto espino-cerebelar anterior (Fig. 15.5). As fibras deste tracto penetram no cerebelo, principalmente pelo pedúnculo cerebelar superior (Fig. 22.7). Admite-se que as fibras cruzadas na medula tornam a se cruzar ao entrar no cerebelo, de tal modo que o impulso nervoso termina no hemisfério cerebelar situado do mesmo lado em que se originou. Ao contrário do tracto espino-cerebelar posterior, que veicula somente impulsos nervosos originados em receptores periféricos, as fibras do tracto espino-cerebelar anterior informam também eventos que ocorrem dentro da própria medula relacionados com a atividade elétrica do tracto córtico-espinhal. Assim, através do tracto espino-cerebelar anterior, o cerebelo é informado de quando os impulsos motores chegam à medula e qual sua intensidade. Essa informação é usada pelo cerebelo para controle da motricidade somática.

Na Tabela 15.1 estão sintetizados os dados mais importantes sobre os principais tractos e fascículos ascendentes da medula cuja posição é

Tabela 15.1
Características dos Principais Tractos e Fascículos Ascendentes da Medula

Nome	*Origem*	*Trajeto na Medula*	*Localização*	*Terminação*	*Função*
F. grácil e cuneiforme	gânglio espinhal	direto	funículo posterior	n. grácil e cuneiforme (bulbo)	tato epicrítico
T. espino-talâmico anterior	coluna posterior	cruzado	funículo anterior	tálamo	tato protopático e pressão
T. espino-talâmico lateral	coluna posterior	cruzado	funículo lateral	tálamo	temperatura e dor
T. espino-cerebelar anterior	coluna posterior e substância cinzenta intermédia	cruzado e direto	funículo lateral	paleocerebelo	propriocepção inconsciente. Detecção dos níveis de atividade do t. córtico-espinhal
T. espino-cerebelar posterior	coluna posterior (n. torácico)	direto	fuuículo lateral	paleocerebelo	propriocepção inconsciente

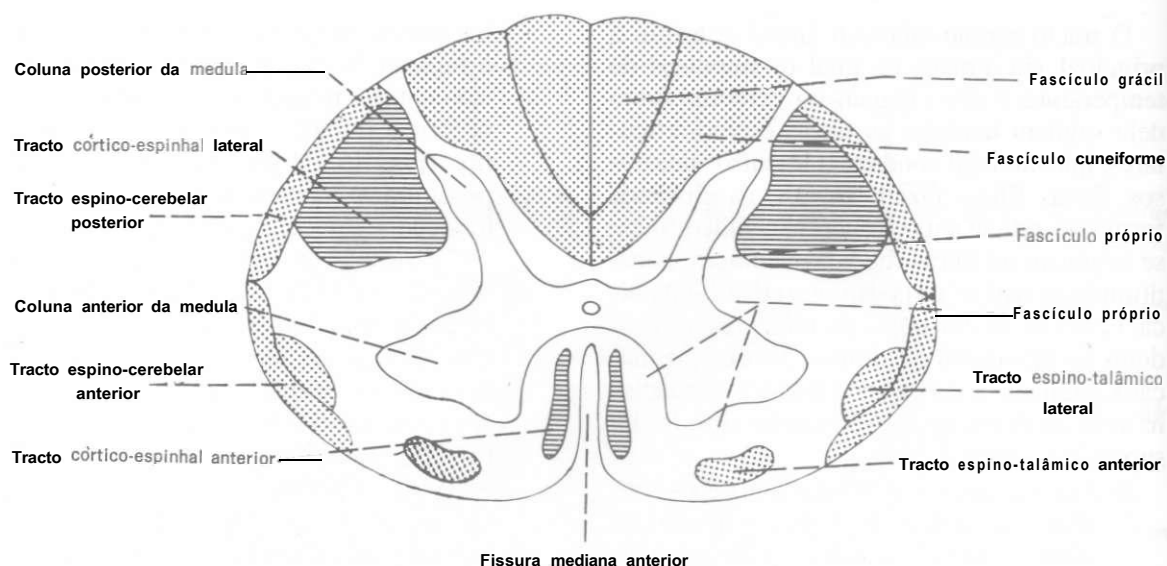



Fig. 15.6 — *Posição aproximada dos principais tractos e fascículos da medula. Tractos ascendentes em pontilhado; tractos descendentes em linhas horizontais.*

mostrada na Fig. 15.6, juntamente com os tractos córtico-espinhais e os fascículos próprios*.

5.0 — CORRELAÇÕES ANATOMOCLÍNICAS

O conhecimento dos principais tractos e fascículos da medula é importante para a compreensão dos sinais e sintomas decorrentes das lesões e processos patológicos que podem acometer este órgão. Esse assunto será discutido no Capítulo 21, após o estudo do tronco encefálico. Até lá o aluno já deverá ter assimilado as principais noções sobre a estrutura da medula e do tronco encefálico, indispensáveis para se entender o assunto.

* *O estudo dos tractos medulares feito neste capítulo foi propositalmente simplificado, não tendo sido estudados os seguintes tractos e fascículos, cuja significação funcional e clínica, até o presente momento, é pequena ou mesmo desconhecida: fascículos sulcomarginal, septomarginal e semilunar; tractos interstício-espinhal, solitário-espinhal, espino-olivar, espino-vestibular, espino-tectal, espino-pontino e espino-cervical.*

Capítulo 16

Estrutura do Bulbo

Iniciaremos neste capítulo o estudo da estrutura do tronco encefálico, começando por seu componente mais caudal, o *bulbo* ou *medula oblonga.* Antes disto, faremos algumas considerações sobre a estrutura de todo o tronco encefálico e suas diferenças da medula.

1.0 — CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESTRUTURA DO TRONCO ENCEFÁLICO

Existem várias diferenças entre a estrutura da medula e a do tronco encefálico, embora ambos pertençam ao sistema nervoso segmentar. Uma delas é a fragmentação longitudinal e transversal da substância cinzenta no tronco encefálico. formando-se, assim, os núcleos dos nervos cranianos. Estes núcleos correspondem, pois, a determinadas áreas de substância cinzenta da medula e constituem a chamada *substância cinzenta homóloga à da medula.* Por outro lado, existem muitos núcleos no tronco encefálico* que não têm correspondência com nenhuma área da substância cinzenta da medula. Constituem a *substância cinzenta própria do tronco encefálico.* A fragmentação das colunas cinzentas ao nível do tronco encefálico se deve, em parte, ao aparecimento de um grande número de fibras de direção transversal, pouco freqüentes na medula.

Outra diferença entre a estrutura da medula e do tronco encefálico é a presença, ao nível deste, de uma rede de fibras e corpos de neurônios, a *formação reticular,* que preenche o espaço situado entre os núcleos e tractos mais compactos. A formação reticular tem uma estrutura intermediária entre a substância branca e cinzenta, sendo por muitos denominada substância reticular.

2.0 — ESTRUTURA DO BULBO

2.1 — FATORES QUE MODIFICAM A ESTRUTURA DO BULBO EM COMPARAÇÃO COM A DA MEDULA

A organização interna das porções caudais do bulbo é bastante semelhante à da medula. Entretanto, à medida que se examinam secções mais altas de bulbo, notam-se diferenças cada vez maiores, até que ao nível da oliva já não existe aparentemente qualquer semelhança. Estas modificações da estrutura do bulbo em relação à da medula são devidas principalmente aos seguintes fatores:

a) *aparecimento de novos núcleos próprios do bulbo* — sem correspondentes na medula, como os núcleos grácil, cuneiforme e o núcleo olivar inferior;
b) *decussação das pirâmides ou decussação motora* (Fig. 16.1) — as fibras do tracto

---

* *O estudo dos núcleos do tronco encefálico será feito de uma maneira muito simplificada. Para maiores detalhes, veja, entre outros, Olszewski, J. and Baxter, D. — 1954 —*Cytoarchitecture **of the Human Brain Stem,** *Karger, New York. Neste livro são descritos 102 núcleos no tronco encefálico.*

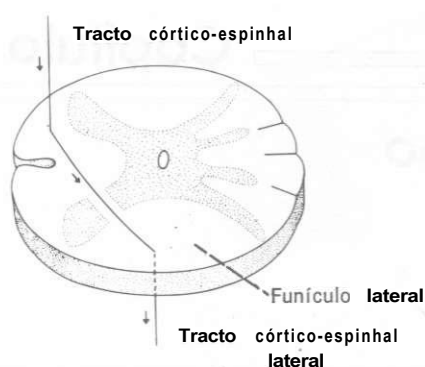



Fig. 16.1 — *Esquema do trajeto de uma fibra na decussação das pirâmides.*

Fig. 16.2 — *Esquema do trajeto de uma fibra na decussação dos lemniscos.*

córtico-espinhal percorrem as pirâmides bulbares e a maioria delas decussa, ou seja, muda de direção cruzando o plano mediano *(decussação das pirâmides),* para continuar como tracto córtico-espinhal lateral. Neste trajeto as fibras atravessam a substância cinzenta, contribuindo, assim, para separar a cabeça da base da coluna anterior. A Fig. 16.1 mostra, esquematicamente, como isto se faz representando-se o trajeto de uma só fibra;

c) *decussação dos lemniscos ou decussação sensitiva* (Fig. 16.2)— conforme exposto no capítulo anterior, as fibras dos fascículos grácil e cuneiforme da medula terminam fazendo sinapse em neurônios dos *núcleos grácil e cuneiforme,* que aparecem no funículo posterior, já nos níveis mais baixos, do bulbo. As fibras que se originam nestes núcleos são denominadas *fibras arqueadas internas.* Elas mergulham ventralmente, passam através da coluna posterior, contribuindo para fragmentá-la, cruzam o plano mediano *(decussação sensitiva)* e infletem-se cranialmente para constituir de cada lado o *lemnisco medial.* A Fig. 16.2 mostra, esquematicamente, este trajeto, representando-se uma só fibra. É fácil, pois, entender que cada lemnisco medial conduz ao tálamo os impulsos nervosos que subiram nos fascículos grácil e cuneiforme da medula do lado oposto. Estes impulsos relacionam-se, pois, com a propriocepção consciente, tato epicrítico e sensibilidade vibratória;

d) *abertura do **IV** ventrículo* — em níveis progressivamente mais altos do bulbo, o número de fibras dos fascículos grácil e cuneiforme vai pouco a pouco diminuindo, à medida que elas terminam nos respectivos núcleos. Deste modo, desaparecem os dois fascículos, bem como os correspondentes núcleos grácil e cuneiforme. Não havendo mais nenhuma estrutura no funículo posterior, abre-se o canal central formando-se o IV ventrículo, cujo assoalho é constituído principalmente de substância cinzenta homóloga à medula, ou seja, núcleos de nervos cranianos.

2.2 — SUBSTÂNCIA CINZENTA DO BULBO

2.2.1 — Substância Cinzenta Homóloga (Núcleos de Nervos Cranianos)

Os núcleos dos nervos cranianos serão estudados em conjunto no Capítulo 19. Limitar-nos-emos, agora, a dar as principais características daqueles situados no bulbo:

a) *núcleo ambíguo* — (Figs. 16.4, 32.3, 32.4) — núcleo motor para a musculatura estriada de origem branquiomérica. Dele saem as fibras eferentes viscerais especiais do IX, X e XI pares cranianos (Fig. 19.3), destinados à musculatura da laringe e da faringe. Situa-se profundamente no interior do bulbo.

b) *núcleo do hipoglosso* (Figs. 16.4, 32.2 a 32.4) — núcleo motor onde se originam

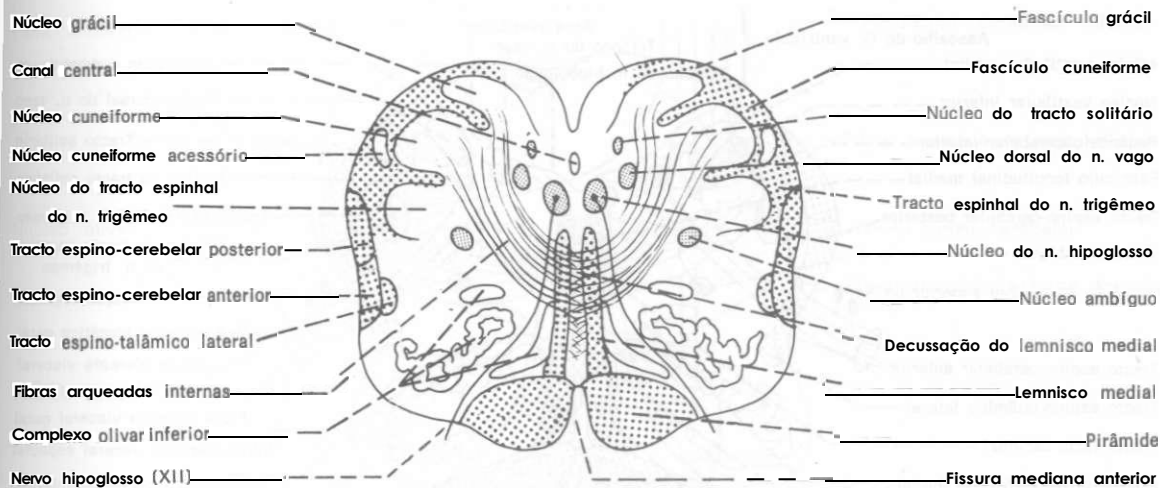



Fig. 16.3 — *Secção transversal esquemática* **da porção** *fechada* **do bulbo ao nível da** *decussação* **do lemnisco** *medial.*

as fibras eferentes somáticas para a musculatura da língua. Situa-se no triângulo do hipoglosso, no assoalho do IV ventriculo, e suas fibras dirigem-se ventralmente para emergir no sulco lateral anterior do bulbo entre a pirâmide e a oliva (Fig. 19.1).

c) *núcleo dorsal do vago* (Figs. 16.4, 32.2 a 32.4) — núcleo motor pertencente ao parassimpático. Nele estão situados os neurônios pré-ganglionares cujos axônios saem pelo nervo vago (Fig. 19.2). Corresponde à coluna lateral da medula. Situa-se no triângulo do vago, no assoalho do IV ventriculo;

d) *núcleos vestibulares* (Figs. 16.4, 17.1, 32.4) — são núcleos sensitivos que recebem as fibras que penetram pela porção vestibular do VIII par. Localizam-se na área vestibular do assoalho do IV ventriculo (Fig. 17.1), atingindo o bulbo apenas os núcleos vestibulares *inferior* e *medial* (Figs. 16.4, 32.4);

e) *núcleo do tracto solitário* (Figs. 16.4, 32.2 a 32.4) — é um núcleo sensitivo que recebe fibras aferentes viscerais gerais e especiais que entram pelo VII, IX e X pares cranianos. Antes de penetrarem no núcleo, as fibras têm trajeto descendente no *tracto solitário,* que é quase totalmente circundado pelo núcleo. As fibras aferentes viscerais especiais que penetram no núcleo do tracto solitário estão relacionadas com a gustação;

f) *núcleo do tracto espinhal do nervo trigêmeo* (Figs. 16.3, 16.4, 32.1 a 32.4) — a este núcleo chegam fibras aferentes somáticas gerais trazendo a sensibilidade dc quase toda a cabeça pelos nervos V (Fig. 19.4), VII, IX e X. Contudo, as fibras que chegam pelos nervos VII, IX e X trazem apenas a sensibilidade geral do pavilhão e conduto auditivo externo. Corresponde à substância gelatinosa da medula com a qual se continua;

g) *núcleo salivatório inferior* — origina fibras pré-ganglionares que emergem pelo nervo glossofaríngeo para inervação da parótida (Fig. 19.2).

Para facilitar a memorização dos nomes e funções dos núcleos de nervos cranianos do bulbo, um bom exercício é tentar deduzir o nome de cada um dos núcleos que entram em ação nas várias etapas do ato de tomar sorvete. Inicialmente põe-se a língua para fora para lamber o sorvete. Núcleo envolvido: *núcleo do hipoglosso.* A seguir é necessário verificar se o sorvete está mesmo frio (ou seja, se é realmente um sorvete). Núcleo envolvido: *núcleo do tracto espinhal do trigêmeo.* Feito isso, é conveniente verificar o gosto do sorvete. Núcleo envolvido: *núcleo do tracto solitário.* Nessa etapa o indivíduo já deve estar com a "boca cheia d'água". Núcleo envolvido: *núcleos salivatórios* (no caso do bulbo, somente o inferior). Nessa fase já há condições de se engolir o sorvete. Núcleo envolvido: *núcleo ambíguo.* Finalmente o sorvete chega ao estômago e sofre a ação do suco gástrico. Núcleo envolvido: *nú-*

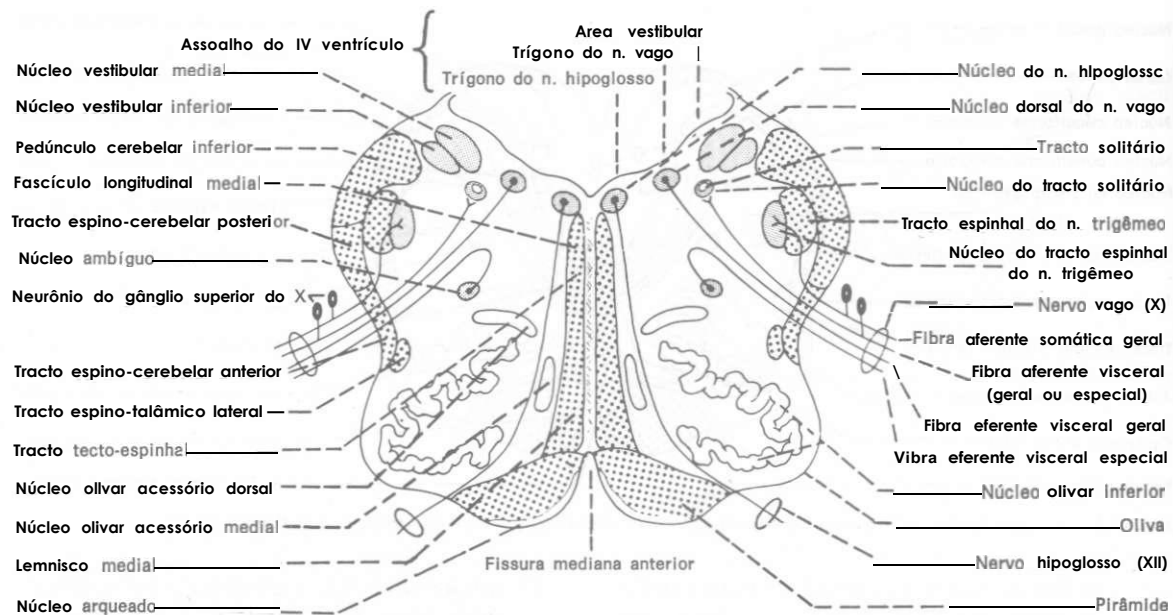



Fig. 16.4 — *Secção transversal esquemática* **da porção aberta do bulbo ao nível da parte média da oliva.**

cleo dorsal do vago. E como o indivíduo tomou o sorvete de pé, sempre mantendo o equilíbrio, estiveram envolvidos também os *núcleos vestibulares inferior* e *medial.*

2.2.2 — Substância Cinzenta Própria do Bulbo

a) *núcleos grácil e cuneiforme* (Figs. 16.3, 32.1, 32.2) — já foram estudados no item 2.1. Dão origem a fibras arqueadas internas que cruzam o plano mediano para formar o lemnisco medial (Figs. 16.2, 16.3);

b) *núcleo olivar inferior* (Figs. 16.4, 32.4) — é uma grande massa de substância cinzenta que corresponde à formação macroscópica já descrita como oliva. Aparece em cortes como uma lâmina de substância cinzenta bastante pregueada e encurvada sobre si mesma com uma abertura principal dirigida medialmente.

O núcleo olivar inferior recebe fibras do córtex cerebral da medula e do núcleo rubro, este último situado no mesencéfalo. Liga-se ao cerebelo através das fibras *olivo-cerebelares* que cruzam o plano mediano, penetram no cerebelo pelo pedúnculo cerebelar inferior (Fig. 16.5), distribuindo-se a todo o córtex desse órgão. Sabe-se hoje que as conexões olivo-cerebelares estão envolvidas na aprendizagem motora, fenômeno que nos permite realizar determinada tarefa com velocidade e eficiência cada vez maiores quando ela se repete várias vezes:

c) *núcleos olivares acessórios medial e dorsal* (Figs. 16.4, 32.3) — estes núcleos têm basicamente a mesma estrutura, conexão e função do núcleo olivar inferior, constituindo com ele o *complexo olivar inferior**.

2.3 — SUBSTÂNCIA BRANCA DO BULBO

2.3.1 — Fibras Transversais

As fibras transversais do bulbo são também denominadas *fibras arqueadas* e podem ser divididas em *internas* e *externas:*

* *Também pertence à substância cinzenta própria do bulbo o* núcleo cuneiforme acessório, *situado lateralmente à porção cranial do núcleo cuneiforme (Fig. 16.3). Esse núcleo liga-se ao cerebelo pelo* tracto cúneo-cerebelar, *que, numa parte de seu trajeto, constitui as* fibras arqueadas externas dorsais *(Fig. 16.5).*

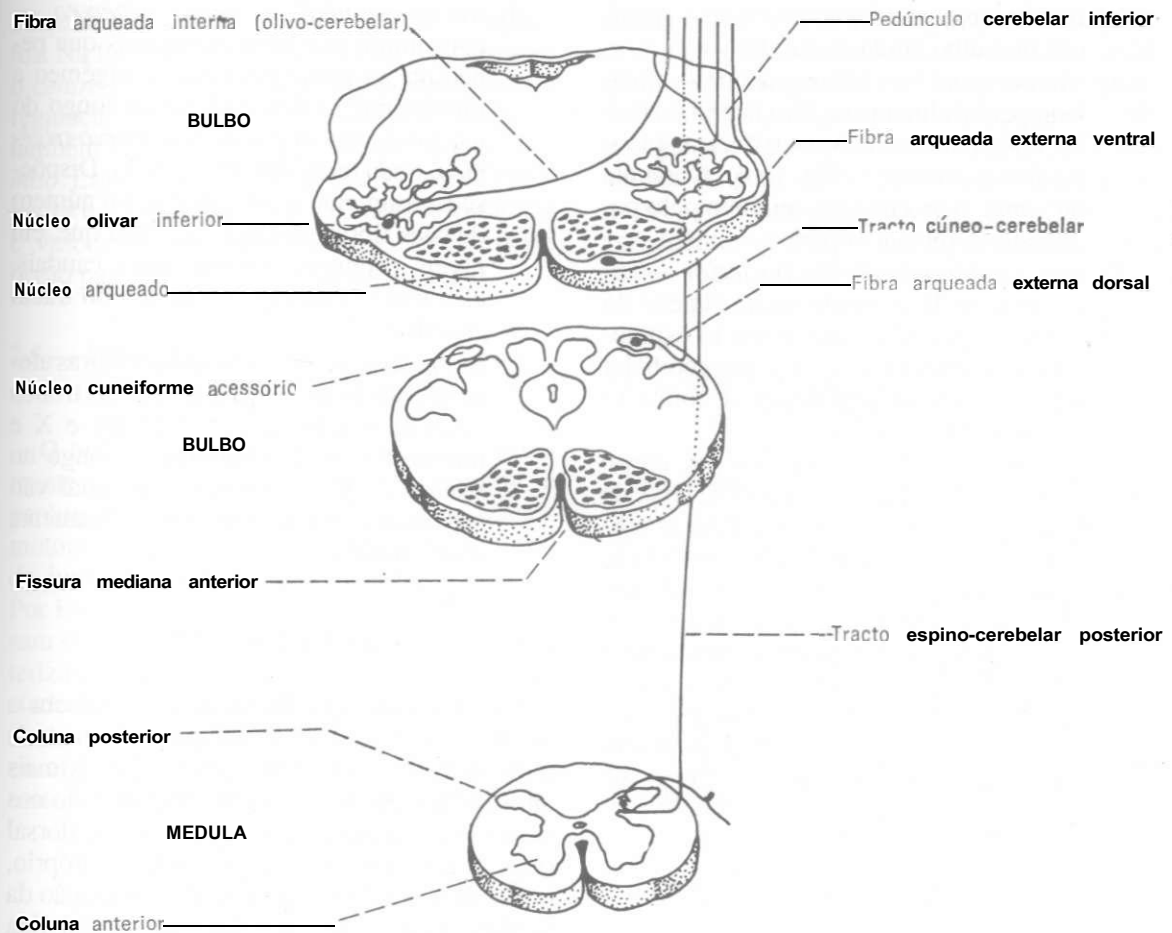



Fig. 16.5 — *libras arqueadas do bulbo c formação do pedúnculo cerebelar inferior.*

a) *fibras arqueadas internas* — formam dois grupos principais dc significação completamente diferente: algumas são constituídas pelos axônios dos neurônios dos núcleos grácil e cuneiforme no trajeto entre estes núcleos e o lemnisco medial (Fig. 16.2); outras são constituídas pelas fibras olivo-cerebelares, que do complexo olivar inferior cruzam o plano mediano, penetrando no cerebelo do lado oposto pelo pedúnculo cerebelar inferior (Fig. 16.5).

b) *fibras arqueadas externas* (Fig. 16.5) — têm trajeto próximo á superfície do bulbo e penetram no cerebelo pelo pedúnculo cerebelar inferior.

2.3.2 — Fibras Longitudinais

As fibras longitudinais formam as *vias ascendentes, descendentes* e de *associação* do bulbo.

2.3.2.1 — Vias Ascendentes

São constituídas pelos tractos e fascículos ascendentes oriundos da medula, que terminam no bulbo ou passam por ele em direção ao cerebelo ou ao tálamo. A eles acrescenta-se o lemnisco medial, originado no próprio bulbo. Estas vias estão relacionadas a seguir.

a) *fascículos grácil e cuneiforme* — visíveis na porção fechada do bulbo (Figs. 16.3, 31.1,31.2);

b) *lemnisco medial* — formando uma fita compacta de fibras de cada lado do plano mediano, ventral mente ao tracto tecto-espinhal (Figs. 16.2, 16.4):

c) *tracto espino-talâmico lateral* — situado na área lateral do bulbo. medialmente ao tracto espino-cerebelar anterior. Tem, pois, no bulbo uma posição correspondente à sua posição na medula (Fig. 16.4);

d) *tracto espino-talâmico anterior* — posição no bulbo ainda discutida;
e) *tracto espino-cerebelar anterior* — situa-se superficialmente na área lateral do bulbo, entre o núcleo olivar e o tracto espino-cerebelar posterior (Fig. 16.4). Continua na ponte, pois entra no cerebelo pelo pedúnculo cerebelar superior;
f) *tracto espino-cerebelar posterior* — situa-se superficialmente na área lateral do bulbo (Fig. 16.4), entre o tracto espino-cerebelar anterior e o pedúnculo cerebelar inferior, com o qual pouco a pouco se confunde (Fig. 16.5);
g) *pedúnculo cerebelar inferior (ou corpo restiforme)* — é um proeminente feixe de fibras ascendentes que percorrem as bordas laterais da metade inferior do IV ventrículo até o nível dos recessos laterais, onde se flete dorsalmente para penetrar no cerebelo. As fibras que constituem o pedúnculo cerebelar inferior já foram estudadas e são as seguintes (Fig. 16.5): fibras olivo-cerebelares; fibras do tracto espino-cerebelar posterior; e fibras arqueadas externas.

2.3.2.2 — Vias Descendentes

As principais vias descendentes do bulbo são as seguintes:
a) *tracto córtico-espinhal* — constituído por fibras originadas no córtex cerebral que passam no bulbo em trânsito para a medula, ocupando as pirâmides bulbares. É, por isto, denominado também de *tracto piramidal* (Figs. 16.4, 32.2 a 32.4);
b) *tracto córtico-nuclear* — constituído por fibras originadas no córtex cerebral e que terminam em núcleos motores do tronco encefálico. No caso do bulbo estas fibras terminam nos núcleos ambíguo e do hipoglosso, permitindo o controle voluntário dos músculos da laringe, da faringe e da língua (Fig. 32.3);
c) *tractos extrapiramidais* — constituídos por fibras originadas em várias áreas do tronco encefálico e que se dirigem à medula. Foram referidos no capítulo anterior e são os seguintes: *tracto tecto-espinhal, tracto rubro-espinhal, tracto vestíbulo-espinhal* e *tracto retículo-espinhal;*
d) *tracto espinhal do nervo trigêmeo* — constituído por fibras sensitivas que penetram na ponte pelo nervo trigêmeo e tomam trajeto descendente ao longo do *núcleo do tracto espinhal do nervo trigêmeo,* onde terminam (Fig. 19.4). Dispõe-se lateralmente a este núcleo, e o número de suas fibras diminui à medida que, em níveis progressivamente mais caudais, elas vão terminando no núcleo do tracto espinhal;
e) *tracto solitário* — formado por fibras aferentes viscerais que penetram no tronco encefálico pelos nervos VII, IX e X e tomam trajeto descendente ao longo do *núcleo do tracto solitário,* no qual vão terminando em níveis progressivamente mais caudais.

2.3.2.3 — Vias de Associação

São formadas por fibras que constituem o *fascículo longitudinal medial*, presente em toda a extensão do tronco encefálico e níveis mais altos da medula. É facilmente identificado nos cortes por sua posição sempre medial e dorsal (Fig. 16.4). Corresponde ao fascículo próprio, que, como já foi visto, é a via de associação da medula. O fascículo longitudinal medial liga todos os núcleos motores dos nervos cranianos, sendo especialmente importantes suas conexões com os núcleos dos nervos relacionados com o movimento do bulbo ocular (III, IV, VI) e da cabeça (núcleo de origem da raiz espinhal do nervo acessório que inerva os músculos trapézio e esternocleidomastóideo). Recebe, ainda, um importante contingente de fibras dos núcleos vestibulares, trazendo impulsos que informam sobre a posição da cabeça (Fig. 17.1). Deste modo, o fascículo longitudinal medial é importante para a realização de reflexos que coordenam os movimentos da cabeça com os do olho, além de vários outros reflexos envolvendo estruturas situadas em níveis diferentes do tronco encefálico.

2.4 — FORMAÇÃO RETICULAR DO BULBO

A formação reticular ocupa uma grande área do bulbo, onde preenche todo o espaço não

ocupado pelos núcleos de tractos mais compactos. Na formação reticular do bulbo localiza-se o *centro respiratório*, muito importante para a regulação do ritmo respiratório. Aí se localizam também o *centro vasomotor* e o *centro do vômito*. Estes centros serão estudados nos Capítulos 19 e 20. A presença dos centros respiratório e vasomotor no bulbo torna as lesões neste órgão particularmente perigosas.

2.5 — CORRELAÇÕES ANATOMOCLÍNICAS

O bulbo, apesar de ser uma parte relativamente pequena do sistema nervoso central, é percorrido por um grande número de tractos motores e sensitivos situados nas proximidades de importantes núcleos de nervos cranianos. Por isto, lesões mesmo restritas do bulbo causam sinais e sintomas muito variados que caracterizam as diversas *síndromes bulbares*. Estas síndromes serão estudadas no Capítulo 21 juntamente com as demais síndromes do tronco encefálico e da medula. Pode-se adiantar, entretanto, que os sintomas mais característicos das lesões bulbares são a disfagia (dificuldade de deglutição) e as alterações da fonação, por lesão do núcleo ambíguo, assim como alterações do movimento da língua por lesão do núcleo do hipoglosso. Estes quadros podem ser acompanhados de paralisias e perdas de sensibilidade no tronco e nos membros por lesão das vias ascendentes ou descendentes, que percorrem o bulbo. (Para maiores detalhes veja o Capítulo 21, item 4.)

2.6 — SISTEMATIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DO BULBO

As estruturas do bulbo estudadas anteriormente serão relacionadas nas chaves que seguem. Esta disposição do assunto tem como objetivo não induzir o aluno a uma memorização exagerada, mas sim proporcionar meios para uma rápida avaliação de conhecimentos sobre o significado das principais formações bulbares. Na página seguinte, as principais estruturas bulbares estão agrupadas em três chaves, respectivamente, para a substância cinzenta, substância branca e formação reticular.

SINOPSE DAS PRINCIPAIS ESTRUTURAS DO BULBO

- **Substância cinzenta**
  - **núcleos de nervos cranianos**
    - **núcleos motores**
      - núcleo ambíguo (IX, X, XI)
      - núcleo do hipoglosso (XII)
      - núcleo dorsal do vago (X)
      - núcleo salivatório inferior (IX)
    - **núcleos sensitivos**
      - núcleo do tracto espinhal do trigêmeo (V, VII, IX, X)
      - núcleo do tracto solitário (VII, IX, X)
      - núcleo vestibular medial (VIII)
      - núcleo vestibular inferior (VIII)
  - **substância cinzenta própria do bulbo**
    - núcleo grácil
    - núcleo cuneiforme
    - núcleo cuneiforme acessório
    - complexo olivar inferior:
      - núcleo olivar inferior
      - núcleo olivar acessório medial
      - núcleo olivar acessório dorsal
- **Substância branca**
  - **fibras transversais**
    - fibras arqueadas internas
    - fibras arqueadas externas
  - **fibras longitudinais**
    - **ascendentes**
      - fascículo grácil
      - fascículo cuneiforme
      - lemnisco medial
      - tracto espino-talâmico lateral
      - tracto espino-talâmico anterior
      - tracto espino-cerebelar anterior
      - tracto espino-cerebelar posterior
      - pedúnculo cerebelar inferior
    - **descendentes**
      - tracto córtico-espinhal
      - tracto córtico-nuclear
      - tracto tecto-espinhal
      - tracto rubro-espinhal
      - tracto vestíbulo-espinhal
      - tracto retículo-espinhal
      - tracto espinhal do trigêmeo
      - tracto solitário
    - **de associação** — fascículo longitudinal medial
- **Formação reticular**
  - centro respiratório
  - centro vasomotor
  - centro do vômito
- **Cavidade**
  - canal central do bulbo
  - IV ventriculo

Capítulo 17

Estrutura da Ponte

A ponte é formada por uma *parte ventral*, ou *base da ponte*, e uma *parte dorsal*, ou *tegmento da ponte*. O tegmento da ponte tem estrutura muito semelhante ao bulbo e ao tegmento do mesencéfalo. Já a base da ponte tem estrutura muito diferente das outras áreas do tronco encefálico. No limite entre o tegmento e a base da ponte observa-se um conjunto de fibras mielínicas de direção transversal, o *corpo trapezóide*, muito evidente em preparações coradas para evidenciação de mielina (Fig. 32.6). O corpo trapezóide será estudado como parte integrante do tegmento.

1.0 — PARTE VENTRAL OU BASE DA PONTE

A base da ponte é uma área própria da ponte sem correspondente em outros níveis do tronco encefálico. Ela apareceu durante a filogênese, juntamente com o neocerebelo e o neocórtex, mantendo íntimas conexões com estas duas áreas do sistema nervoso. Atinge seu máximo desenvolvimento no homem, onde é maior que o tegmento.

As seguintes formações são observadas na base da ponte:

1.1 — FIBRAS LONGITUDINAIS

a) *tracto córtico-espinhal* — constituído por fibras que, das áreas motoras do córtex cerebral, se dirigem aos neurônios motores da medula. Seu trajeto pelo bulbo e terminação na medula já foi estudado. Na base da ponte o tracto córtico-espinhal forma vários feixes dissociados, não tendo a estrutura compacta que apresenta nas pirâmides do bulbo (Figs. 17.3, 32.7);

b) *tracto córtico-nuclear* — constituído por fibras que, das áreas motoras do córtex, se dirigem aos neurônios motores situados em núcleos motores de nervos cranianos; no caso da ponte, os núcleos do facial, trigêmeo e abducente. As fibras destacam-se do tracto à medida que se aproximam de cada núcleo motor, podendo terminar em núcleos do mesmo lado e do lado oposto;

c) *tracto córtico-pontino* — formado por fibras que se originam em várias áreas do córtex cerebral, e terminam fazendo sinapse com os neurônios dos núcleos pontinos.

1.2 — FIBRAS TRANSVERSAIS E NÚCLEOS PONTINOS

Os núcleos pontinos são pequenos aglomerados de neurônios dispersos em toda a base da ponte (Figs. 12.3, 32.6). Neles terminam fazendo sinapse as fibras córtico-pontinas. Os axônios dos neurônios dos núcleos pontinos

constituem as *fibras transversais da ponte,* também chamadas *fibras pontinas* ou *ponto-cerebelares.* Estas fibras de direção transversal cruzam o plano mediano e penetram no cerebelo pelo pedúnculo cerebelar médio, ou braço da ponte (Fig. 22.6). Forma-se, assim, a importante *via córtico-ponto-cerebelar* (Fig. 22.6), que será estudada a propósito das conexões do cerebelo, no Capítulo 22.

2.0 — PARTE DORSAL OU TEGMENTO DA PONTE

O tegmento da ponte assemelha-se estruturalmente ao bulbo e ao tegmento do mesencéfalo com os quais continua. Apresenta fibras ascendentes, descendentes e transversais, além de núcleos de nervos cranianos e substância cinzenta própria da ponte. O estudo destes elementos será feito de acordo com uma seqüência didática um pouco diferente da que foi usada para o bulbo. Serão estudados sucessivamente os núcleos e os sistemas de fibras relacionadas com os nervos vestíbulo-coclear, facial, abducente e trigêmeo. Isto corresponde a uma análise das estruturas mais importantes observadas em cortes, passando, respectivamente, pelos recessos laterais do IV ventrículo, pelo colículo facial e pela origem aparente do nervo trigêmeo.

2.1 — NÚCLEOS DO NERVO VESTÍBULO-COCLEAR

As fibras sensitivas que constituem as partes coclear e vestibular do nervo vestíbulo-coclear terminam, respectivamente, nos núcleos cocleares e vestibulares da ponte, cujas conexões e funções são muito diferentes e serão estudadas a seguir.

2.1.1 — Núcleos Cocleares, Corpo Trapezóide, Lemnisco Lateral

Os *núcleos cocleares* são dois, *dorsal e ventral,* situados ao nível em que o pedúnculo cerebelar inferior se volta dorsalmente para penetrar no cerebelo (Fig. 32.5). Nestes núcleos terminam as fibras que constituem a porção coclear do nervo vestíbulo-coclear e são os prolongamentos centrais dos neurônios sensitivos do gânglio espiral. A maioria das fibras originadas nos núcleos cocleares dorsal e ventral cruza para o lado oposto, constituindo o corpo trapezóide (Figs. 29.7, 32.6). A seguir, estas fibras contornam o *núcleo olivar superior* e inflectem-se cranialmente para constituir o *lemnisco lateral,* terminando no colículo inferior, de onde os impulsos nervosos seguem para o corpo geniculado medial.

Entretanto, um número significativo de fibras dos núcleos cocleares termina no núcleo olivar superior, do mesmo lado ou do lado oposto, de onde os impulsos nervosos seguem pelo lemnisco lateral*. Todas essas formações são parte da via da audição, que será estudada mais minuciosamente no Capítulo 29. Através dela, os impulsos nervosos oriundos da cóclea são levados ao córtex cerebral, onde são interpretados. É interessante assinalar que muitas fibras originadas dos núcleos cocleares sobem no lemnisco lateral do mesmo lado (Fig. 29.7) ou terminam nos núcleos olivares desse mesmo lado. Assim, a via auditiva apresenta componentes cruzados e não-cruzados, ou seja, o hemisfério cerebral de um lado recebe informações auditivas provenientes dos dois ouvidos.

2.1.2 — Núcleos Vestibulares e suas Conexões (Fig. 17.1)

Os núcleos vestibulares localizam-se no assoalho do IV ventrículo, onde ocupam a *área vestibular.* São em número de quatro, ou seja, os *núcleos vestibulares lateral, medial, superior* e *inferior.* Cada um destes núcleos tem suas características e suas conexões, mas serão estudados em conjunto, como se fossem um só núcleo. Os núcleos vestibulares recebem impulsos nervosos originados na parte vestibular do ouvido interno e que informam sobre a posição e os movimentos da cabeça. Estes impulsos passam pelos neurônios sensitivos do gânglio vestibular e chegam aos núcleos vestibulares pelos prolongamentos centrais destes neurônios, que, em conjunto, formam a parte vestibular do nervo vestíbulo-coclear. Chegam ainda aos núcleos vestibulares fibras prove-

* *Além dos núcleos olivares superiores, dois outros núcleos recebem colaterais ou terminais das fibras do corpo trapezóide ou do lemnisco lateral:* o núcleo do corpo trapezóide *e* o núcleo do lemnisco lateral.

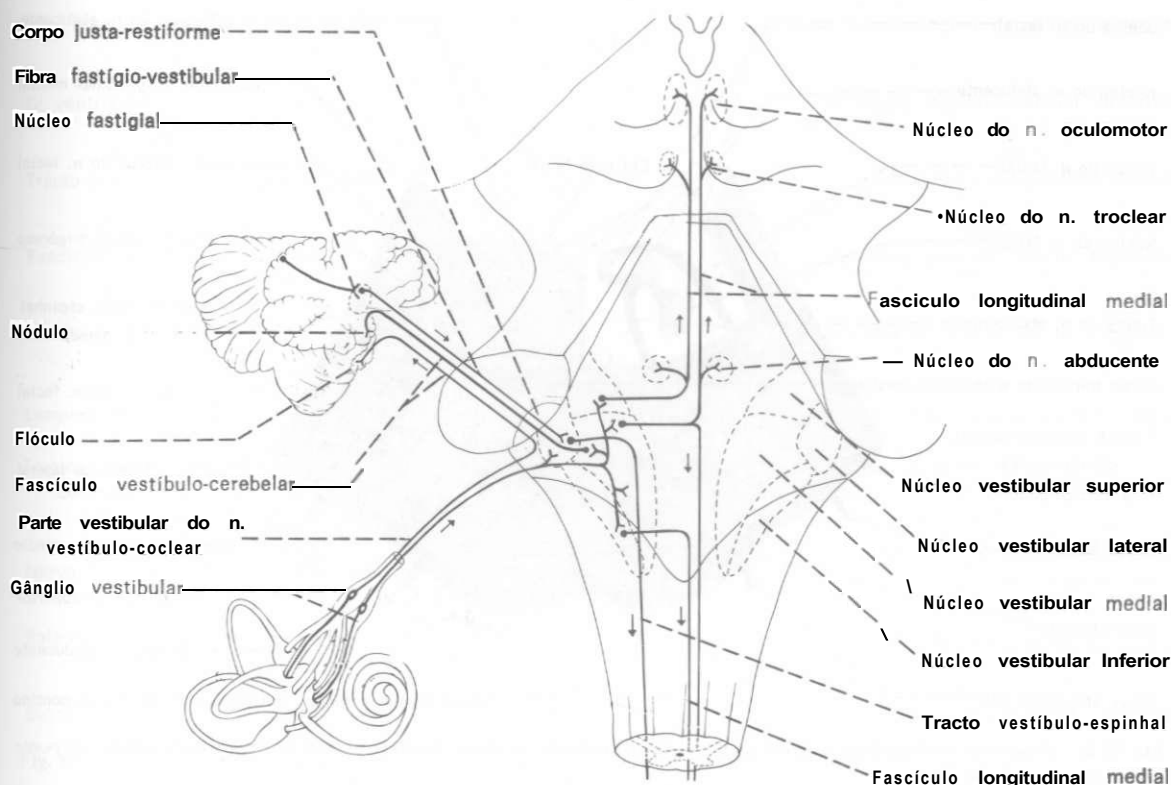



Fig. 17.1 — *Núcleos c vias vestibulares.*

nientes do cerebelo relacionadas com a manutenção do equilíbrio. Estas fibras serão estudadas a propósito das conexões do arquicerebelo. As fibras eferentes dos núcleos vestibulares formam ou entram na composição dos seguintes tractos e fascículos:

a) *fascículo-vestíbulo-cerebelar* — formado por fibras que terminam no córtex do arquicerebelo;

b) *fascículo longitudinal medial* — nos núcleos vestibulares origina-se a maioria das fibras que entram na composição do fascículo longitudinal medial, já estudado no capítulo anterior (item 2.3.2.3). Este fascículo está envolvido em reflexos que permitem ao olho ajustar-se aos movimentos da cabeça. As informações sobre a posição da cabeça chegam ao fascículo longitudinal medial através de suas conexões com os núcleos vestibulares;

c) *tracto vestíbulo-espinhal* — suas fibras levam impulsos aos neurônios motores da medula e são importantes para manutenção do equilíbrio;

d) *fibras vestíbulo-talâmicas* — admite-se a existência de fibras vestíbulo-talâmicas que levam impulsos ao tálamo, de onde vão ao córtex. A localização e o significado destas fibras são discutidos.

2.2 — NÚCLEOS DOS NERVOS FACIAL E ABDUCENTE

As relações entre estes dois núcleos são mostradas na Figura 17.2. As fibras que emergem do núcleo do nervo facial têm inicialmente direção dorso-medial (Fig. 19.3), formando um feixe compacto que logo abaixo do assoalho do IV ventriculo se encurva em direção cranial. Estas fibras, após percorrerem uma certa distância ao longo do lado medial do núcleo do nervo abducente, encurvam-se lateralmente sobre a superfície dorsal deste núcleo, contribuindo para formar a elevação do assoalho do IV ventriculo, conhecida como *coliculo facial* (Fig. 5.2). A curvatura das fibras do nervo facial em torno do núcleo do abducente constitui o joelho interno do nervo facial. Após contornar o núcleo do abducente, as fibras do nervo facial tomam direção ventrolateral c ligeiramente caudal para emergir no sulco bulbo-pontino. As

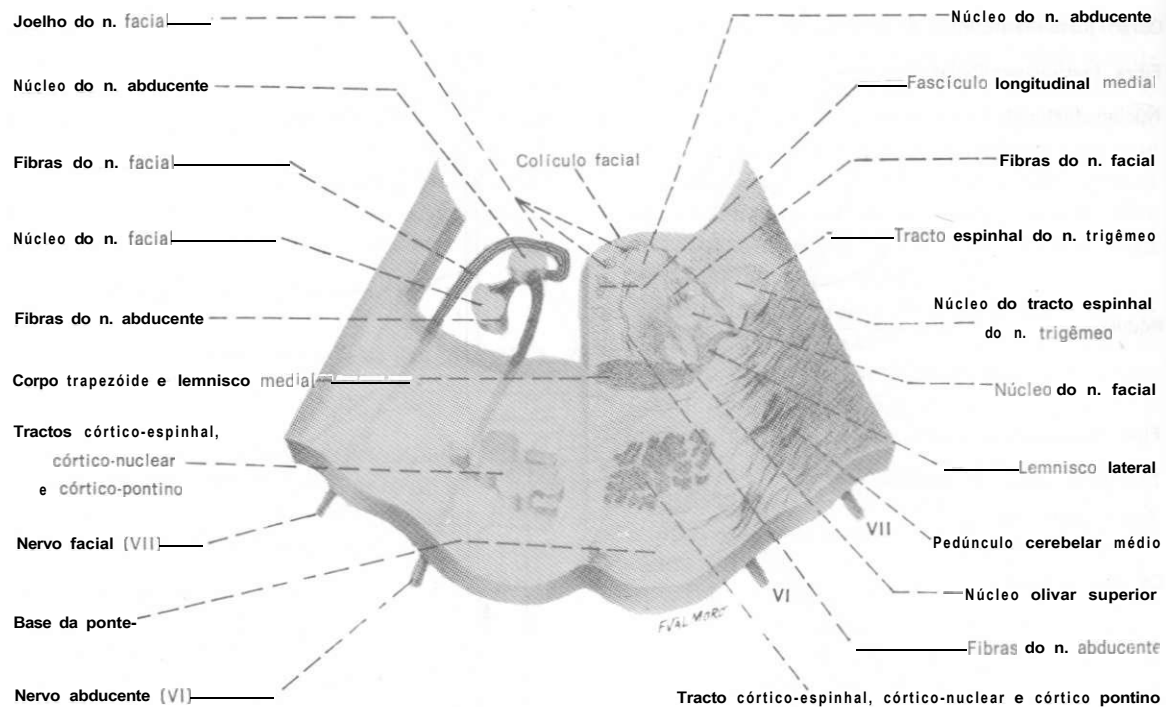



fig. 17.2 — *Diagrama mostrando as relações do nervo facial com o núcleo do nervo abducente, visto em um corte espesso de ponte passando pelo colículo facial.*

fibras do facial têm, pois, relações muito íntimas com o núcleo do abducente e, por isso, lesões conjuntas de ambas as estruturas podem ocorrer. Os sinais resultantes deste tipo de lesão serão descritos no Capítulo 21, item 5.2.

2.3 — NÚCLEO SALIVATÓRIO SUPERIOR E NÚCLEO LACRIMAL (Fig. 19.2)

Estes núcleos, pertencentes à parte craniana do sistema nervoso parassimpático, dão origem a fibras pré-ganglionares que emergem pelo nervo intermédio, conduzindo impulsos para a inervação das glândulas submandibular, sublingual e lacrimal.

2.4 — NÚCLEOS DO NERVO TRIGÊMEO (Figs. 17.3, 19.4, 29.4)

Além do núcleo do tracto espinhal descrito no bulbo, o nervo trigêmeo tem ainda, na ponte, o *núcleo sensitivo principal,* o *núcleo do tracto mesencefálico* e o *núcleo motor* (Fig. 19.4). Observando-se uma secção de ponte aproximadamente ao nível da penetração do nervo trigêmeo (Fig. 17.3), vê-se, medialmente, o núcleo motor e lateralmente o núcleo sensitivo principal, este último uma continuação cranial e dilatada do núcleo do tracto espinhal (Fig. 19.4). A partir do núcleo principal, estende-se cranialmente em direção ao mesencéfalo o núcleo do tracto mesencefálico do trigêmeo acompanhado pelas fibras do *tracto mesencefálico do trigêmeo* (Fig. 19.4). O núcleo motor origina fibras para os músculos mastigadores, sendo freqüentemente denominado *núcleo mastigador.* Os demais núcleos recebem impulsos relacionados com a sensibilidade somática geral dc grande parte da cabeça. Deles saem fibras ascendentes, que se reúnem para constituir o *lemnisco trigeminal,* que termina no tálamo (Fig. 29.4). Mais detalhes sobre os núcleos do trigêmeo serão vistos nos Capítulos 19 e 29.

3.0 — CORRELAÇÕES ANATOMOCLÍNICAS

Os sinais e sintomas característicos das lesões da ponte decorrem do comprometimento dos núcleos de nervos cranianos aí localizados,

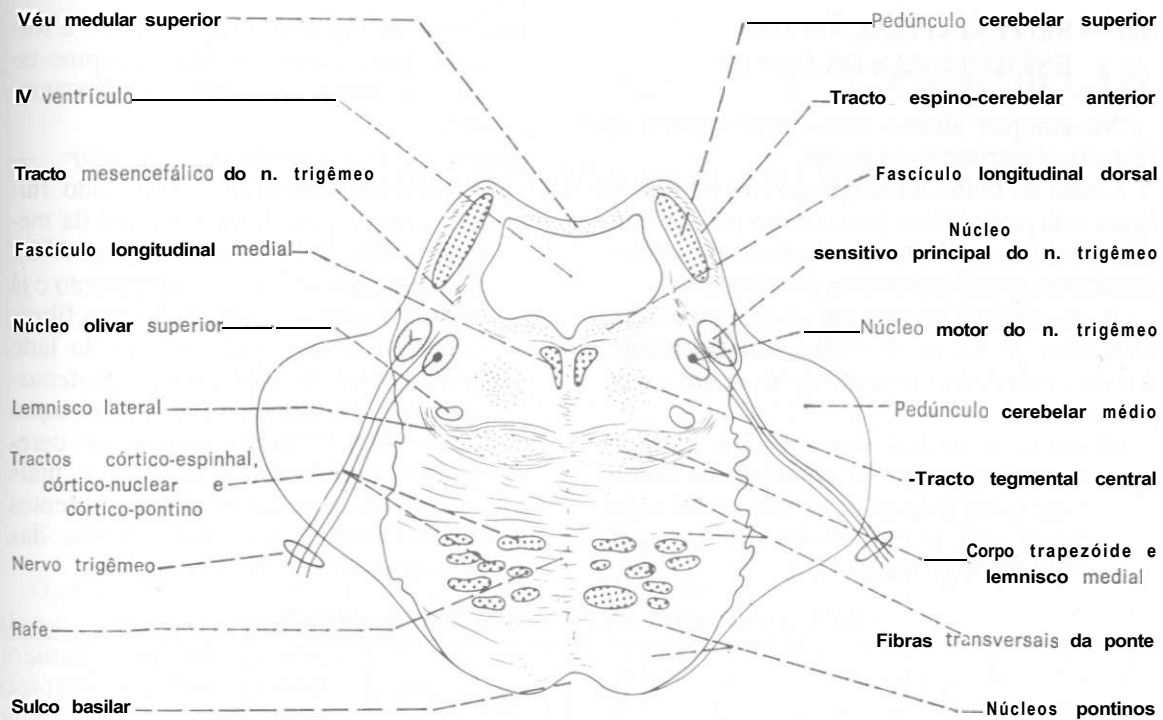



Fig. 17.3 — *Esquema de uma secção transversal de ponte ao nível da origem aparente do nervo trigêmeo.*

ou seja, os núcleos do **V, VI, VII** e VIII pares cranianos. Assim, podem ocorrer alterações da sensibilidade da lace **(V** par), da motricidade da musculatura mastigadora **(V** par) ou mímica **(VII** par), do músculo reto lateral (VI par), além de tonteira e alterações do equilíbrio **(VIII** par). A estes sinais podem associar-se paralisias ou perdas da sensibilidade no tronco c membros por lesão das vias descendentes e ascendentes que transitam pela ponte. Estes sinais e sintomas caracterizam algumas síndromes que serão estudadas no Capítulo 21, item 5.

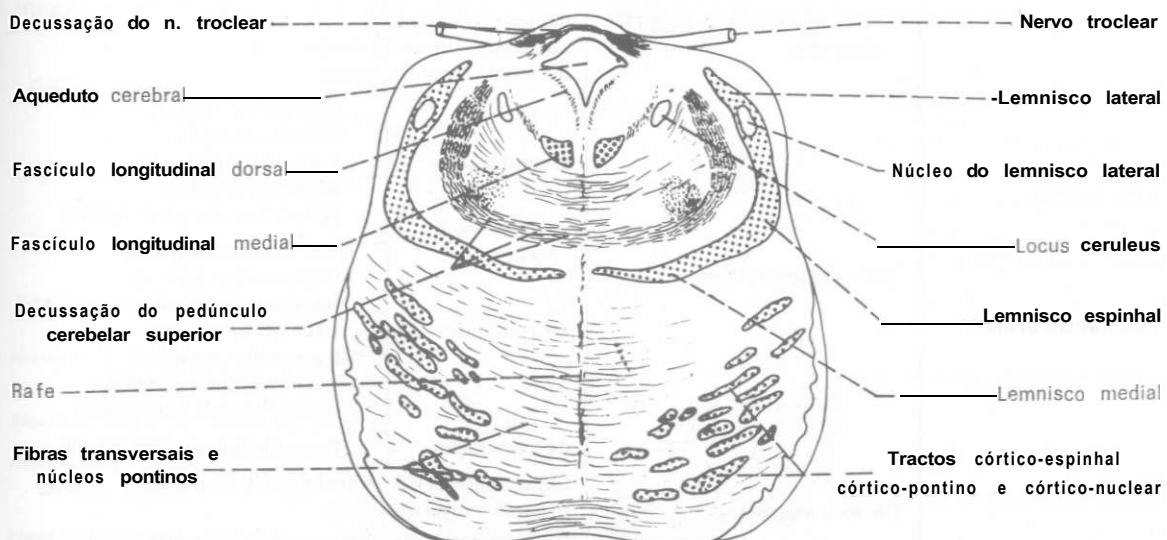



Fig. 17.4 — *Esquema dc uma secção transversal de ponte ao nível da parte cranial do assoalho do IV ventriculo.*

4.0 — SISTEMATIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DA PONTE

Na sinopse abaixo serão relacionadas as principais estruturas da ponte.

Como no bulbo, distinguimos na substância branca da ponte fibras transversais e fibras longitudinais, estas últimas podendo ainda ser descendentes, ascendentes e de associação.

A maioria das fibras e tractos que serão relacionados já foram descritos anteriormente. Cabem, entretanto, considerações sobre os seguintes:

a) *lemnisco medial* (Figs. 17.3 e 17.4) — ocupa na ponte, ao contrário do bulbo, uma faixa de disposição transversal, cujas fibras cruzam perpendicularmente as fibras do corpo trapezóide;

b) *lemnisco espinhal* (Fig. 17.4) — é formado pela união dos tractos espino-talâmico lateral e espino-talâmico anterior;

c) *pedúnculo cerebelar superior* — emerge do cerebelo constituindo inicialmente a parede dorsolateral da metade cranial do IV ventriculo (Fig. 17.3). A seguir, aprofunda-se no tegmento e já no limite com o mesencéfalo suas fibras começam a se cruzar com as do lado oposto, constituindo o início da *decussação dos pedúnculos cerebelares superiores* (Fig. 17.4). Os pedúnculos cerebelares superiores constituem o mais importante sistema de fibras eferentes do cerebelo. Segue uma sinopse das principais estruturas da ponte.

SINOPSE DAS PRINCIPAIS ESTRUTURAS DA PONTE

- **Substância cinzenta**
  - **núcleos de nervos cranianos**
    - núcleos do V
      - núcleo do tracto mesencefálico
      - núcleo sensitivo principal
      - núcleo motor
      - núcleo do tracto espinhal
    - núcleos do VI
    - núcleos do VII
    - núcleos do VIII
      - núcleos coclear dorsal
      - núcleos coclear ventral
      - núcleos vestibular superior
      - núcleos vestibular inferior
      - núcleos vestibular medial
      - núcleos vestibular lateral
  - **substância cinzenta própria da ponte**
    - núcleos pontinos
    - núcleo olivar superior
    - núcleo do corpo trapezóide
    - núcleo do lemnisco lateral
- **Substância branca**
  - **fibras longitudinais**
    - **ascendentes**
      - lemnisco medial
      - lemnisco lateral
      - lemnisco trigeminal
      - lemnisco espinhal
      - pedúnculo cerebelar superior
    - **descendentes**
      - tracto córtico-espinhal
      - tracto córtico-nuclear
      - tracto córtico-pontino
      - tracto tecto-espinhal
      - tracto rubro-espinhal
      - tracto vestíbulo-espinhal
      - tracto espinhal do trigêmeo
    - **de associação**
      - fascículo longitudinal medial
  - **fibras transversais**
    - fibras pontinas e pedúnculo cerebelar médio
    - fibras do corpo trapezóide
    - decussação dos pedúnculos cerebelares superiores
- Formação reticular
- Cavidade — IV ventriculo

Capítulo 18

Estrutura do Mesencéfalo

O mesencéfalo é constituído por uma porção dorsal, o *tecto do mesencéfalo*. e outra ventral muito maior, os *pedúnculos cerebrais*, separados pelo *aqueduto cerebral*. Este percorre longitudinalmente o mesencéfalo e é circundado por uma espessa camada de substância cinzenta, a *substância cinzenta central* ou *periaqueductal* (Fig. 18. 1). Em cada pedúnculo cerebral distingue-se uma parte ventral. a *base do pedúnculo*. formada de fibras longitudinais e uma parte dorsal, o *tegmento do mesencéfalo* cuja estrutura se assemelha à parte correspondente da ponte. Separando o tegmento da base, observa-se uma lâmina de substância cinzenta pigmentada, a *substância negra* (Fig. 5.3).

1.0 — TECTO DO MESENCÉFALO

Em vertebrados inferiores, o tecto do mesencéfalo é um centro nervoso muito importante, relacionado com a integração de várias funções sensoriais e motoras. Durante a evolução, parte de suas funções foi assumida pelo córtex cerebral, diminuindo consideravelmente sua importância nos mamíferos. Nestes, o tecto do mesencéfalo é constituído de quatro eminências. os *colículos superiores*, relacionados com os órgãos da visão, e os *colículos inferiores*, relacionados com a audição, além da chamada *área pré-tectal*. Cada uma destas partes será estudada a seguir.

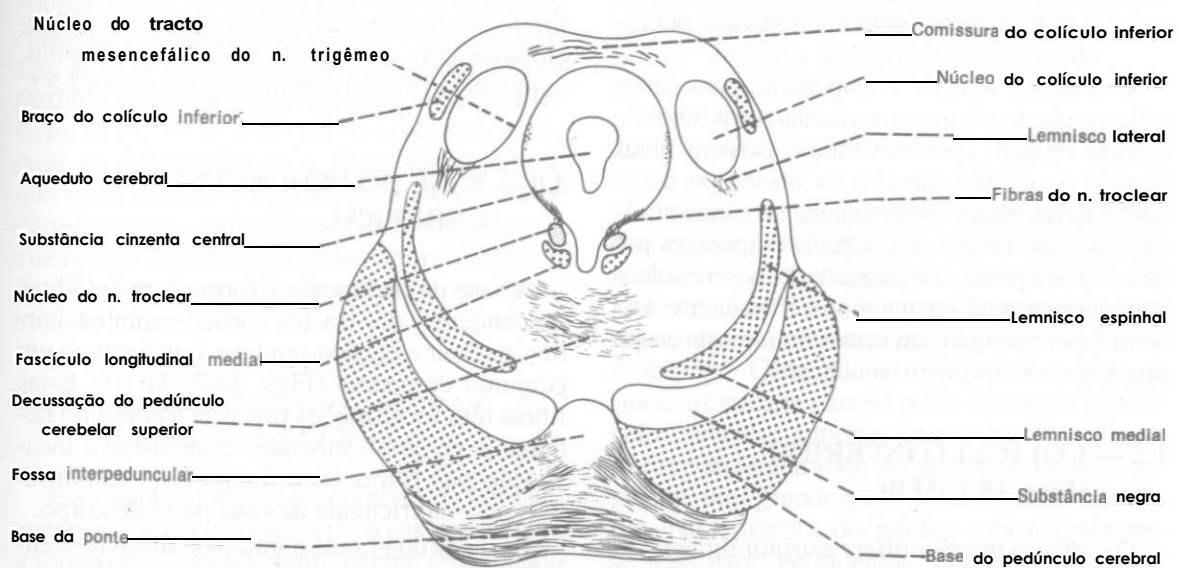



Fig. 18.1 — *Esquema de uma secção transversal de mesencéfalo ao nível dos colículos inferiores.*

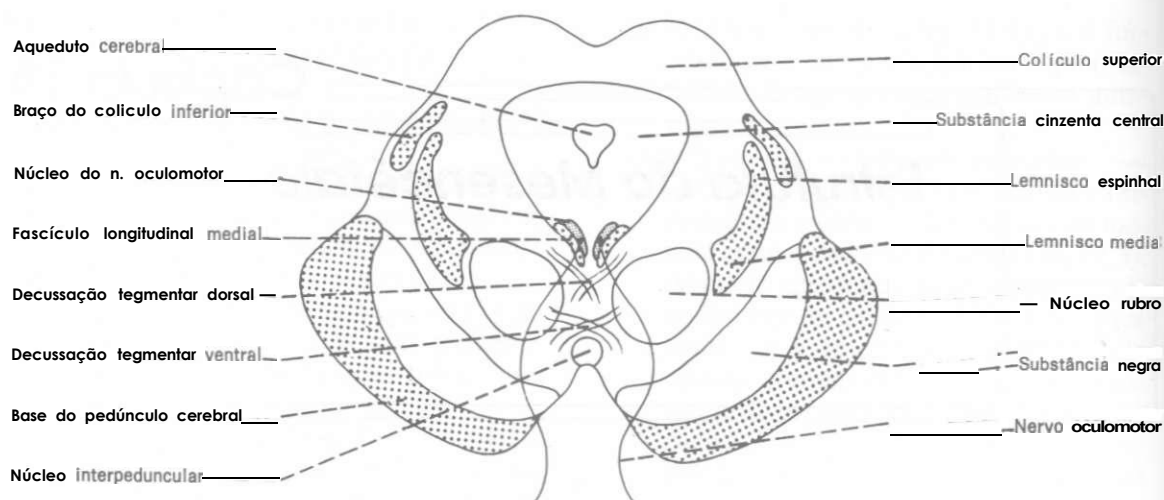



Fig. 18.2 — *Esquema de uma secção transversal de mesencéfalo ao nível dos colículos superiores.*

1.1 — COLÍCULO SUPERIOR (Figs. 18.2, 32.10)

É formado por uma série dc camadas superpostas constituídas alternadamente por substância branca e cinzenta, sendo que a camada mais profunda confunde-se com a substância cinzenta central. Suas conexões são complexas, destacando-se entre elas:

a) fibras oriundas da retina, que atingem o coliculo pelo tracto óptico e braço do coliculo superior;
b) fibras oriundas do córtex occipital, que chegam ao coliculo pela radiação óptica e braço do coliculo superior;
c) fibras que formam o *tracto tecto-espinhal* e terminam fazendo sinapse com neurônios motores da medula cervical.

O colículo superior é importante para certos reflexos que regulam os movimentos dos olhos no sentido vertical. Para esta função existem libras ligando o colículo superior ao núcleo do nervo oculomotor, situado ventralmente no tegmento do mesencéfalo. Lesões dos colículos superiores podem causar a perda da capacidade de mover os olhos no sentido vertical, voluntária ou reflexamente. Isto ocorre, por exemplo, cm certos tumores do corpo pineal que comprimem os colículos.

1.2 — COLÍCULO INFERIOR (Figs. 18.1, 32.9)

O coliculo inferior difere estruturalmente do superior por ser constituído de uma massa bem delimitada de substância cinzenta, o *núcleo do coliculo inferior.* Este núcleo recebe as fibras auditivas que sobem pelo lemnisco lateral (Fig. 18. 1) e manda libras ao corpo geniculado medial através do braço do coliculo inferior (Fig. 29. 7). Algumas fibras cruzam de um coliculo para outro, formando a *comissura do coliculo inferior.* O coliculo inferior é. pois. um importante relé das vias auditivas.

1.3 — ÁREA PRÉ-TECTAL

Também chamada *núcleo pré-tectal*, é uma área de limites pouco definidos, situada na extremidade rostral dos colículos superiores, no limite do mesencéfalo com o diencéfalo. Relaciona-se com o controle reflexo das pupilas, como será visto no próximo capítulo, item 2.2.6.

2.0 — BASE DO PEDÚNCULO CEREBRAL

A base do pedúnculo é formada pelas libras descendentes dos tractos córtico-espinhal. córtico-nuclear c córtico-pontino, que formam um conjunto compacto (Figs. 18.2, 31.10). Estas fibras têm localizações precisas na base do pedúnculo cerebral, sabendo-se inclusive a localização das fibras córtico-espinhais responsáveis pela motricidade de cada parte do corpo.

Em vista do grande número dc fibras descendentes que percorrem a base dos pedúnculos

:erebrais, lesões aí localizadas causam parali-;ias que se manifestam do lado oposto ao da lesão.

3.0 — TEGMENTO DO MESENCÉFALO

O tegmento do mesencéfalo é uma continua-;ão do tegmento da ponte. Como este, apresenta, além da formação reticular, substância cinzenta e substância branca, que serão estudadas a seguir.

3.1 — SUBSTÂNCIA CINZENTA

3.1.1 — Substância Cinzenta Homóloga (Núcleos de Nervos Cranianos)

No tegmento do mesencéfalo estão os núcleos dos pares cranianos III, IV e V. Desse último, entretanto, está apenas o núcleo do tracto mesencéfalico (Fig. 19.4), que continua da ponte e recebe as informações proprioceptivas que entram pelo nervo trigêmeo. O núcleo dos nervos troclear e oculomotor será estudado com mais detalhes a seguir.

3.1.1.1 — Núcleo do Nervo Troclear (Figs. 18.1, 31.9)

Situa-se ao nível do colículo inferior, em posição imediatamente ventral à substância cinzenta central e dorsal ao fascículo longitudinal medial. Suas fibras saem de sua face dorsal, contornam a substância cinzenta central, cruzam com as do lado oposto e emergem do véu medular superior, caudalmente ao colículo inferior (Fig. 19.1). Este nervo apresenta, pois, duas peculiaridades: suas fibras são as únicas que saem da face dorsal do encéfalo e trata-se do único nervo cujas fibras decussam antes de emergirem do sistema nervoso central. Convém lembrar que o nervo troclear inerva o músculo oblíquo superior.

3.1.1.2 — Núcleo do Nervo Oculomotor (Figs. 18.2, 32.10)

Esse núcleo localiza-se ao nível do colículo superior e aparece nos cortes transversais com a forma de V, estando intimamente relacionado com o fascículo longitudinal medial. Trata-se de um núcleo muito complexo, constituído de várias partes, razão pela qual alguns autores preferem denominá-lo *complexo oculomotor*. O complexo oculomotor pode ser funcionalmente dividido em uma parte somática e outra visceral. A parte somática contém os neurônios motores responsáveis pela inervação dos músculos reto superior, reto inferior, reto medial e levantador da pálpebra. Na realidade, a parte somática do complexo oculomotor é constituída de vários subnúcleos. cada um dos quais destina fibras motoras para inervação de um dos músculos acima relacionados. Essas fibras — depois de um trajeto curvo em direção ventral, no qual muitas atravessam o núcleo rubro — emergem na fossa interpeduncular, constituindo o nervo oculomotor (Fig. 18.2).

A parte visceral do complexo oculomotor é o chamado *núcleo de Edinger-Westphal* (Fig. 19.2). Ele contém os neurônios pré-ganglionares, cujas fibras fazem sinapses no gânglio ciliar e estão relacionadas com a inervação do músculo ciliar e músculo esfíncter da pupila. Essas fibras pertencem ao parassimpático craniano e são muito importantes para o controle reflexo do diâmetro da pupila em resposta a diferentes intensidades de luz.

3.1.2 — Substância Cinzenta Própria do Mesencéfalo

Nessa categoria situam-se dois núcleos importantes, ambos relacionados com a atividade motora somática: o núcleo rubro e a substância negra.

3.1.2.1 — Núcleo Rubro (Figs. 18.2, 32.10)

O núcleo rubro, ou núcleo vermelho, é assim denominado em virtude da tonalidade ligeiramente rósea que apresenta nas preparações a fresco. Aparece nos cortes transversais com uma seção circular, mas na realidade sua forma é oblonga. Cada núcleo rubro é abordado na sua extremidade caudal pelas fibras do pedúnculo cerebelar superior que o envolve. Essas fibras vão penetrando no núcleo à medida que sobem, mas grande parte delas termina no tálamo. Na estrutura do núcleo rubro distingue-se uma parte parvicelular, que contém neurônios pequenos, e outra magnocelular, que con-

tém neurônios grandes, esta última muito pouco desenvolvida nos primatas e no homem.

O núcleo rubro participa do controle da motricidade somática. Recebe fibras do cerebelo e das áreas motoras do córtex cerebral e dá origem da tracto rubro-espinhal, através do qual influencia os neurônios motores da medula, responsáveis pela inervação da musculatura distal dos membros. O núcleo rubro liga-se também ao complexo olivar inferior através das fibras *rubro-olivares*, que integram o *circuito rubro-olivo-cerebelar.*

3.1.2.2 — *Substância Negra (Figs. 17.1, 17.2, 32.10)*

Situada entre o tegmento e a base do pedúnculo cerebral, a substância negra é um núcleo compacto formado por neurônios que apresentam a peculiaridade de conter inclusões de melanina. Isso faz com que esse núcleo apresente nas preparações a fresco uma coloração escura, que lhe valeu o nome. Uma característica importante da maioria dos neurônios da substância negra é que eles utilizam como neurotransmissor a dopamina, ou seja, são neurônios dopaminérgicos*. As conexões da substância negra são muito complexas. Entretanto, do ponto de vista funcional, são mais importantes as conexões com o corpo estriado. Essas se fazem nos dois sentidos, através de fibras *nigro-estriatais* e *estriato-nigrais,* sendo as primeiras dopaminérgicas. Degenerações dos neurônios dopaminérgicos da substância negra causam uma diminuição de dopamina no corpo estriado, provocando as graves perturbações motoras que caracterizam a chamada *síndrome de Parkinson.*

3.2 — SUBSTÂNCIA BRANCA

Assim como na ponte, a maioria dos feixes de fibras descendentes do mesencéfalo não passam pelo tegmento, mas pela base do pedúnculo cerebral, onde já os estudamos. Já as fibras ascendentes percorrem o tegmento e representam a continuação dos segmentos que sobem da ponte: os quatro lemniscos e o pedúnculo cerebelar superior. Este, a nível do colículo inferior (Fig. 18.1), cruza com o do lado oposto na *decussação do pedúnculo cerebelar superior* e sobe envolvendo o núcleo vermelho. A nível do colículo inferior, os quatro lemniscos aparecem agrupados em uma só faixa na parte lateral do tegmento (Figs. 18.1, 32.9), onde, em uma seqüência médio-lateral, se dispõem os lemniscos medial, espinhal, trigeminal e lateral. Esse último, pertencente às vias auditivas, termina no núcleo do colículo inferior, enquanto os demais sobem e aparecem a nível do colículo superior (Fig. 18.2) em uma faixa disposta lateralmente ao núcleo rubro. Nesse nível nota-se também o *braço do colículo inferior,* cujas fibras sobem para terminar no corpo geniculado medial. Em toda a extensão do tegmento mesencefálico nota-se, próximo ao plano mediano, o fascículo longitudinal medial, que constitui o feixe de associação do tronco encefálico.

4.0 — SISTEMATIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS DO MESENCÉFALO

A seguir serão relacionadas as principais estruturas da substância cinzenta e branca do mesencéfalo:

---

* *Na realidade, a substância negra contém duas partes:* **pars compacta** *e* **pars reticulata.** *Somente a primeira contém neurônios dopaminérgicos.*

Substância cinzenta
núcleos de nervos cranianos
núcleo do III
parte somática
parte visceral = núcleo de Edinger-Westphal
núcleo do IV
núcleo do tracto mesencefálico do V
Substância cinzenta própria do mesencéfalo
núcleo rubro
substância negra
núcleo do colículo inferior
colículo superior
área pré-tectal
Substância branca
fibras longitudinais
descendentes
tracto córtico-espinhal
tracto córtico-nuclear
tracto córtico-pontino
tracto tecto-espinhal
tracto rubro-espinhal
ascendentes
lemnisco medial
lemnisco lateral
lemnisco espinhal
lemnisco trigeminal
pedúnculo cerebelar superior
braço do colículo superior
braço do colículo inferior
de associação
fascículo longitudinal medial
fibras transversais
decussação do pedúnculo cerebelar superior
comissura do colículo inferior
Formação reticular
Cavidade: aqueduto cerebral

Núcleos dos Nervos Cranianos. Alguns Reflexos Integrados no Tronco Encefálico

) — SISTEMATIZAÇÃO DOS NÚCLEOS DOS NERVOS CRANIANOS EM COLUNAS

A topografia de cada um dos núcleos dos rvos cranianos e o trajeto de suas fibras já ram estudados nos capítulos sobre a estrutura tronco encefálico. Este estudo é importante, is dá as bases para a compreensão e o diagistico das lesões do tronco encefálico. Contu-), existe ainda um outro modo de estudar os icleos dos nervos cranianos, que consiste em rupá-los de acordo com os componentes funonais de suas fibras. Estes componentes forn estudados no Capítulo 12, e a chave que gue abaixo recapitula o que lá foi exposto bre eles.

Os núcleos dos nervos cranianos dispõem-se no tronco encefálico em colunas longitudinais que correspondem a estes componentes funcionais. Entretanto, como as fibras aferentes viscerais gerais e aferentes viscerais especiais vão para uma mesma coluna, existem sete componentes funcionais, mas apenas seis colunas. Estas colunas têm correspondência funcional e, às vezes, continuidade com as colunas da medula. Assim, a coluna aferente somática (coluna do trigêmeo) continua com a substância gelatinosa da medula, e a coluna eferente visceral geral (do sistema nervoso parassimpático) corresponde, na medula, à coluna lateral.

A seguir serão estudados os núcleos que compõem cada uma das seis colunas de núcleos.

Fig. 19.1 — *Núcleos da coluna eferente somática vistos por transparência no interior do tronco encefálico*

1.1 — COLUNA EFERENTE SOMÁTICA (Fig. 19.1)

Todos os núcleos desta coluna dispõem-se de cada lado próximo ao plano mediano. Eles originam Fibras para a inervação dos músculos estriados miotômicos do olho e da língua. São eles:

a) ***núcleo do oculomotor*** (Figs. 19.1, 18.2) — somente a parte somática pertence a esta coluna. Localiza-se no mesencéfalo e origina fibras que inervam todos os músculos extrínsecos do olho, com exceção do reto lateral e oblíquo superior;

b) ***núcleo do troclear*** (Figs. 19.1, 18.1) — situado no mesencéfalo ao nível do colículo inferior. Origina fibras que inervam o músculo oblíquo superior;

c) ***núcleo do abducente*** (Figs. 19.1,17.2)— situado na ponte (coliculo facial). Dá origem a fibras para o músculo reto lateral;

d) ***núcleo do hipoglosso*** (Figs. 19.1, 16.4)— situado no bulbo, no triângulo do nervo hipoglosso, no assoalho do IV ventriculo. Dá origem a fibras para os músculos da língua.

1.2 — COLUNA EFERENTE VISCERAL GERAL (Fig. 19.2)

Nos núcleos desta coluna estão os neurônios pré-ganglionares do parassimpático craniano. As fibras que saem destes núcleos (libras pré-ganglionares), antes de atingir as vísceras, fazem sinapse em um gânglio, conforme já foi exposto nos Capítulos 13 e 14. Os núcleos da coluna eferente visceral geral são os seguintes:

a) ***núcleo** de Edinger-Westphal* (Fig. 19.2) — pertence ao complexo oculomotor, situado no mesencéfalo, ao nível do colículo superior. Origina fibras pré-ganglionares para o gânglio ciliar (através do nervo oculomotor), de onde saem libras pós-ganglionares para o músculo ciliar e esfíncter da pupila (Fig. 14.3);

b) ***núcleo lacrimal*** — situado na ponte, próximo ao núcleo salivatório superior. Origina fibras pré-ganglionares que saem pelo VII par (n. intermédio) e, após complicado trajeto através dos nervos petroso maior c nervo do canal pterigóideo, chegam ao gânglio pterigopalatino (Fig. 14.4), onde têm origem as fibras pós-ganglionares para a glândula lacrimal;

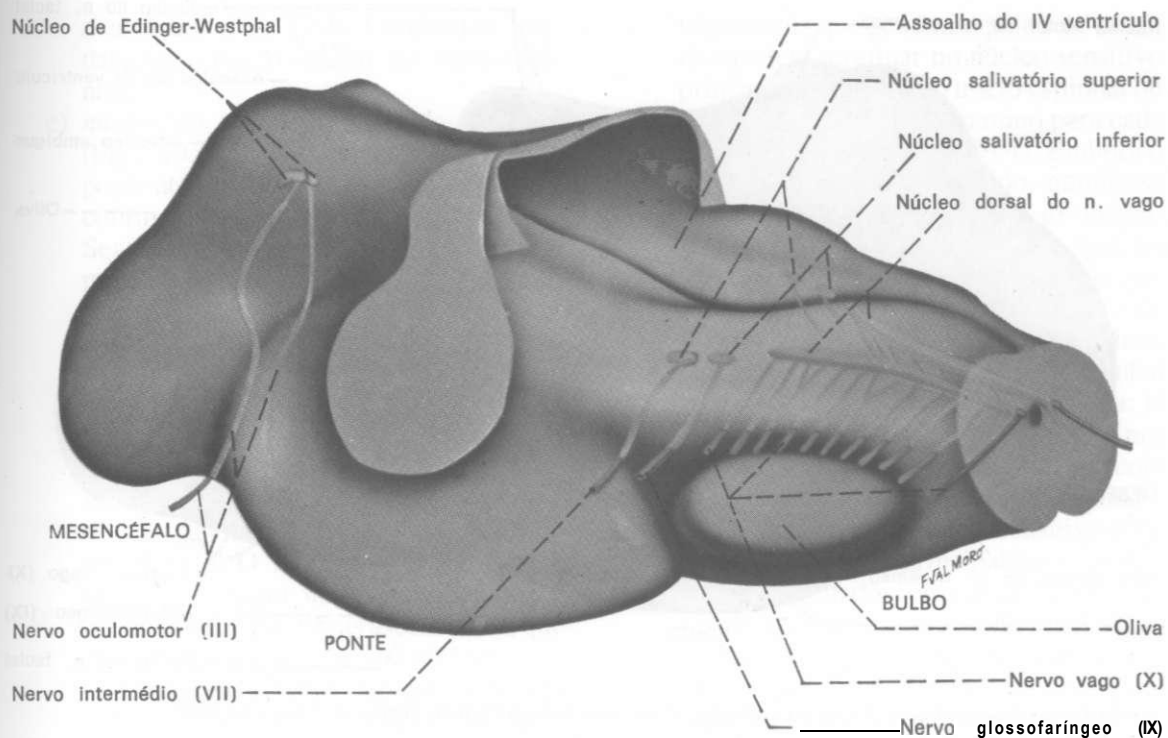



Fig. 19.2 — *Núcleos da coluna eferente visceral geral vistos por transparência no interior do tronco encefálico.*

c) ***núcleo saUvatório superior*** (Fig. 19.2)— situado na parte caudal da ponte, já no limite com o bulbo, rostralmente ao núcleo dorsal do vago. Origina fibras pré-ganglionares que saem pelo nervo intermédio e ganham o nervo lingual através do nervo corda do timpano (Fig. 14.4). Pelo nervo lingual, chegam ao gânglio submandibular, de onde saem as fibras pós-ganglionares que inervam as glândulas submandibular e sublingual;

d) ***núcleo salivatório inferior*** (Fig. 19.2) — situado na parte mais cranial do bulbo, origina fibras pré-ganglionares que saem pelo nervo glossofaríngeo e chegam ao gânglio ótico (Fig. 14.4), pelos nervos timpânico c petroso menor. Do gânglio ótico saem fibras pós-ganglionares que chegam à parótida pelo nervo auriculotemporal, ramo do nervo mandibular:

e) *núcleo dorsal do vago* (Figs. 16.4, 19.2) — situado no bulbo, no triângulo do vago, no assoalho do IV ventrículo. Origina libras pré-ganglionares que saem pelo nervo vago e terminam fazendo sinapse em um grande número de pequenos gânglios nas paredes das vísceras torácicas e abdominais.

1.3 — COLUNA EFERENTE VISCERAL ESPECIAL (Fig. 19.3)

Dá origem a libras que inervam os músculos de origem branquiomérica. Ao contrário dos núcleos já vistos, os núcleos desta coluna localizam-se profundamente no interior do tronco encefálico.

a) ***núcleo motor do trigêmeo*** (Figs. 19.3, 17.3) — situa-se na ponte. Dá origem a fibras que saem pela raiz motora do trigêmeo, ganham a divisão mandibular deste nervo e terminam inervando músculos derivados do primeiro arco branquial, ou seja, os músculos mastigadores (temporal, masseter e pterigóideo lateral e medial), o músculo milo-hióideo e o ventre anterior do músculo digástrico;

b) ***núcleos do facial*** (Figs. 17.2, 19.3) — situa-se na ponte. Origina fibras que pelo VII par vão à musculatura mímica e ao ventre posterior do músculo digástrico,

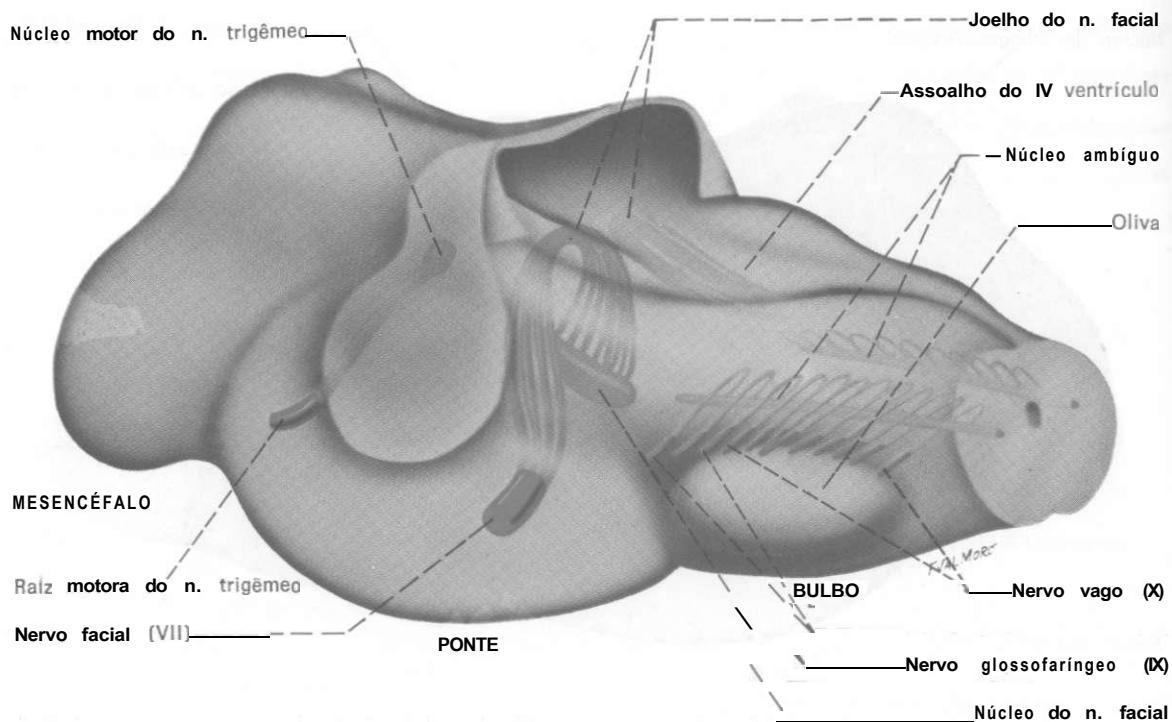



Fig. 19.3 — *Núcleos da coluna eferente visceral especial vistos por transparência no interior do tronco encefálico.*

iodos músculos derivados do segundo arco branquial;

c) *núcleo ambíguo* (Figs. 16.4, 19.3) — situado no bulbo, dá origem a Fibras que inervam os músculos da laringe e da faringe, saindo pelos nervos glossofaríngeo, vago e raiz craniana do acessório.

As libras que emergem pela raiz espinhal do acessório originam-se na coluna anterior dos cinco primeiros segmentos cervicais da medula e inervam os músculos trapé/io c esternocleidomastóideo, que se admite sejam, ao menos em parte, derivados de arcos branquiais.

1.4 — COLUNA AFERENTE SOMÁTICA GERAL (Fig. 19.4)

Os núcleos desta coluna recebem fibras que trazem grande parte da sensibilidade somática geral da cabeça. Pode-se dizer que esta é, por excelência, a coluna do trigêmeo, por ser ele o principal nervo que nela termina. Entretanto, nela também termina um pequeno contingente de libras que entram pelos nervos VII, IX e X. A coluna aferente somática é a única coluna contínua que se estende ao longo de todo o tronco encefálico, continuando-se caudalmente sem interrupção com a substância gelatinosa da medula. Apesar de contínua, distinguem-se nela três núcleos, que serão estudados a seguir:

a) *núcleo do tracto mesencefálico do trigêmeo* (Figs. 19.4, 18.1) — estende-se ao longo de todo o mesencéfalo e a parte mais cranial da ponte. Recebe impulsos proprioceptivos originados em receptores situados nos músculos da mastigação e, provavelmente, também dos músculos extrínsecos do bulbo ocular. Há, também, evidência de que no núcleo mesencefálico chegam fibras originadas em receptores dos dentes c do periodonto, que são importantes para a regulação reflexa da força da mordida.

Os neurônios do núcleo do tracto mesencefálico são muito grandes e sabe-se que, na realidade, são neurônios sensitivos. Este núcleo constitui, pois, exceção à regra de que os corpos dos neurônios sensitivos se localizam sempre fora do sistema nervoso central;

b) *núcleo sensitivo principal* (Figs. 19.4, 17.3) — este núcleo localiza-se na ponte, aproximadamente ao nível da penetração da raiz sensitiva do nervo trigêmeo, cujas fibras

o abraçam (Fig. 19.4). Continua-se caudalmente com o núcleo do tracto-espinhal;

c) *núcleo do tracto espinhal do trigêmeo* (Figs. 19.4, 16.4) — estende-se deste a ponte até a parte alta da medula, onde se continua com a substância gelatinosa. Sendo um núcleo muito longo, grande parte das fibras que penetram pela raiz sensitiva do trigêmeo tem um trajeto descendente, bastante longo antes de terminar em sua parte caudal. Elas se agrupam assim em um tracto, o *tracto espinhal do nervo trigêmeo* (Figs. 19.4, 29.4), que acompanha o núcleo em toda sua extensão, tornando-se cada vez mais fino em direção caudal, à medida que as fibras vão terminando. O mesmo acontece com o núcleo do tracto mesencefálico, que é acompanhado por fibras ascendentes, que se reúnem no *tracto mesencefálico.*

As diferenças funcionais entre o núcleo sensitivo principal e o núcleo do tracto espinhal têm despertado considerável interesse, em vista de suas aplicações práticas para a cirurgia do trigêmeo. As fibras trigeminais que penetram pela raiz sensitiva podem terminar no núcleo sensitivo principal, no núcleo do tracto espinhal ou então bifurcar, dando um ramo para cada um destes núcleos (Fig. 29.4). Embora o assunto seja ainda discutido, admite-se que as fibras que terminam exclusivamente no núcleo sensitivo principal levam impulsos de tato epicrítico; as que terminam exclusivamente no núcleo do tracto espinhal e que, por conseguinte, têm trajeto descendente no tracto espinhal levam impulsos de dor e temperatura; já as fibras que se bifurcam e terminam nos dois núcleos seriam relacionadas com pressão c tato protopático. Assim sendo, pode-se dizer que o núcleo sensitivo principal relaciona-se principalmente com o tato. Estes dados encontram apoio em certos tipos de cirurgia usados para tratamento das nevralgias do trigêmeo, doença em que se manifesta uma dor muito forte no território de um ou mais ramos deste nervo. Neste caso, entre outros processos cirúrgicos, pode-se seccionar o tracto espinhal (tractotomia), interrom-

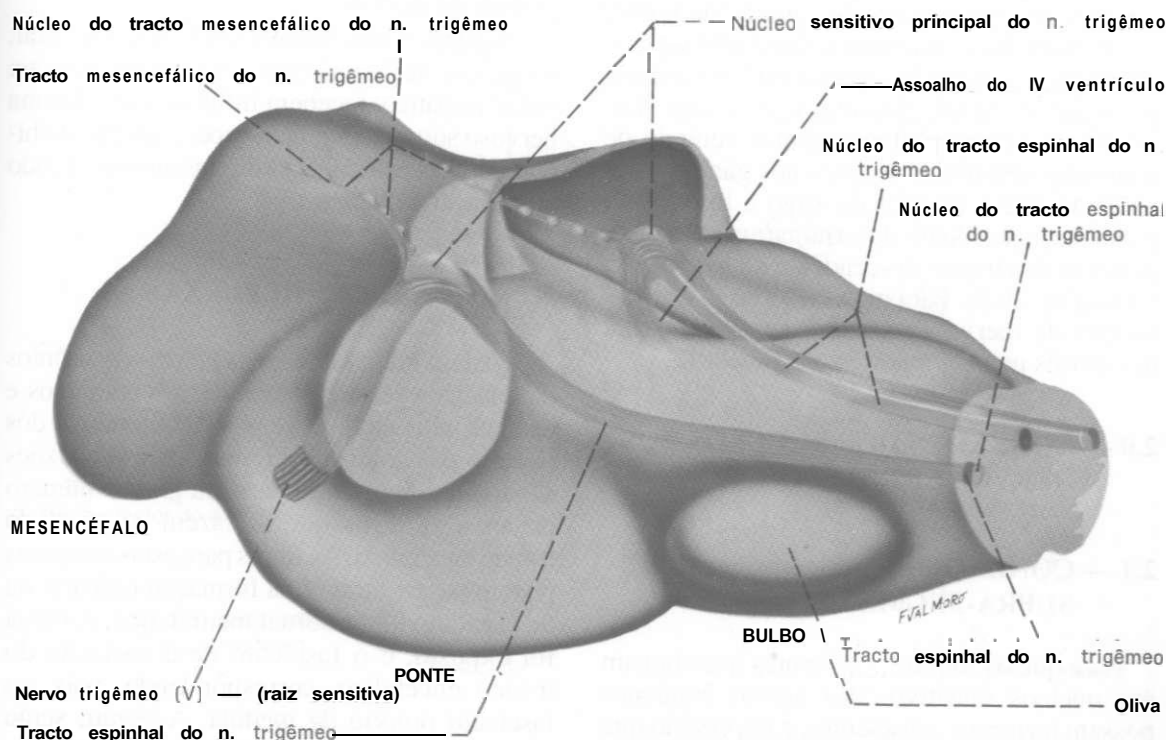



Fig. 19.4 — Núcleos da coluna aferente somática geral (núcleos do trigêmeo) vistos por transparência no interior do tronco encefálico.

pendo-se assim as fibras que terminam no núcleo do tracto espinhal. Após a cirurgia há completa abolição da sensibilidade térmica c dolorosa do lado operado, sendo, entretanto, muito pouco alterada a sensibilidade tátil, pois as fibras que terminam no núcleo sensitivo principal não são lesadas pela cirurgia.

1.5 — COLUNA AFERENTE SOMÁTICA ESPECIAL (Figs. 17.1, 31.5)

Nesta coluna estão localizados os dois núcleos cocleares, ventral e dorsal, e os quatro núcleos vestibulares: superior, inferior, medial e lateral, já estudados no Capítulo 17, a propósito da estrutura da ponte. Esta coluna, ao contrário das demais, é muito larga, pois ocupa toda a área vestibular do IV ventriculo (Fig. 17.1) c neste sentido não se parece, morfologicamente, com uma coluna.

1.6 — COLUNA AFERENTE VISCERAL (Figs. 16.4, 29.5)

Esta coluna é formada por um único núcleo, o *núcleo do tracto solitário*, situado no bulbo. Aí chegam libras trazendo a sensibilidade visceral, geral e especial (gustação), que entram pelos nervos facial, glossofaríngeo e vago. Estas fibras são os prolongamentos centrais de neurônios sensitivos situados nos gânglios geniculado (VII), inferior do vago e inferior do glossofaríngeo. Antes de terminarem no núcleo, as libras têm trajeto descendente no *tracto solitário* (Fig. 29.5). Para uma recordação dos territórios de inervação visceral geral e especial destes três nervos, reporte-se à Tabela 12.3.

2.0 — CONEXÕES DOS NÚCLEOS DOS NERVOS CRANIANOS

2.1 — CONEXÕES SUPRA-SEGMENTARES

Para que os impulsos aferentes que chegam aos núcleos sensitivos dos nervos cranianos possam tornar-se conscientes, é necessário que sejam levados ao tálamo e daí a áreas específicas do córtex cerebral. As libras ascendentes encarregadas de fazer a ligação entre estes núcleos e o tálamo agrupam-se do seguinte modo:

a) *lemnisco trigeminal* — liga os núcleos sensitivos do trigêmeo ao tálamo;
b) *lemnisco lateral* — conduzem impulsos auditivos dos núcleos cocleares ao colículo inferior, de onde vão ao corpo geniculado medial, parte do tálamo;
c) *fibras vestíbulo-talâmicas* — ligam os núcleos vestibulares ao tálamo;
d) *fibras solitário-talâmicas* — ligam o núcleo do tracto solitário ao tálamo.

Por outro lado, os neurônios situados nos núcleos motores dos nervos cranianos estão sob controle do sistema nervoso supra-segmentar, graças a um sistema de libras descendentes, entre as quais se destacam as que constituem o *tracto córtico-nuclear*. Este tracto liga as áreas motoras do córtex cerebral aos neurônios motores situados nos núcleos das colunas eferente somática e eferente visceral especial, permitindo a realização de movimentos voluntários pelos músculos estriados inervados por nervos cranianos. O tracto córtico-nuclear corresponde, no tronco encefálico, aos tractos córtico-espinhais da medula.

Os núcleos da coluna eferente visceral geral, ou seja, os núcleos de pane craniana do sistema parassimpático, recebem influência do sistema nervoso supra-segmentar, especialmente do hipotálamo, através de vias diretas ou envolvendo a formação reticular.

2.2 — CONEXÕES REFLEXAS

Existem muitas conexões entre os neurônios dos núcleos sensitivos dos nervos cranianos e os neurônios motores (e pré-ganglionares) dos núcleos das colunas eferentes. Estas conexões são muito importantes para um grande número de arcos reflexos que se fazem ao nível do tronco encefálico. As libras para estas conexões podem passar através da formação reticular ou do fascículo longitudinal medial, que, como já foi exposto, é o fascículo de associação do tronco encefálico, correspondendo, pois, ao fascículo próprio da medula. A seguir, serão estudados alguns dos inúmeros arcos reflexos integrados no tronco encefálico.

2.2.1 — Reflexo Mandibular ou Mentual (Fig. 19.5)

Pesquisa-se este reflexo percutindo-se o mento de cima para baixo, estando a boca entreaberta. A resposta consiste no fechamento brusco da boca por ação dos músculos mastigadores, em especial do masseter. As vias aferentes c eferentes se fazem pelo trigêmeo. A percussão do mento estira os músculos mastigadores, ativando os fusos neuromusculares aí localizados. Iniciam-se, assim, impulsos aferentes que seguem pelo nervo mandibular e atingem o núcleo do tracto mesencefálico do trigêmeo. Os axônios dos neurônios aí localizados fazem sinapse no núcleo motor do trigêmeo, onde se originam os impulsos eferentes que determinam a contração dos músculos mastigadores. Trata-se, pois, de um reflexo miotátíco de mecanismo semelhante ao reflexo patelar, já estudado, uma vez que envolve apenas dois neurônios, um do núcleo mesencefálico, outro do núcleo motor do trigêmeo. Como se sabe, o núcleo mesencefálico contém neurônios sensitivos, tendo, pois, valor funcional de um gânglio. Este arco reflexo é importante, pois em condições normais mantém a boca fechada sem que seja necessário uma atividade voluntária para isto. Assim, por ação da força da gravidade, o queixo tende a cair, o que causa estiramento dos músculos mastigadores (masseter), desencadeando-se o reflexo mentual que resulta na contração destes músculos, mantendo a boca fechada.

2.2.2 — Reflexo Corneano ou Corneopalpebral (Fig. 19.6)

Pesquisa-se este reflexo tocando ligeiramente a córnea com mecha de algodão, o que determina fechamento dos dois olhos por contração bilateral da parte palpebral do músculo orbicular do olho. O impulso aferente passa sucessivamente pelo ramo oftálmico do trigêmeo, gânglio trigeminal e raiz sensitiva do trigêmeo. chegando ao núcleo sensitivo principal e núcleo do tracto espinhal deste nervo. Fibras cruzadas e não cruzadas originadas nestes núcleos conduzem os impulsos aos núcleos do facial dos dois lados, dc tal modo que a resposta motora

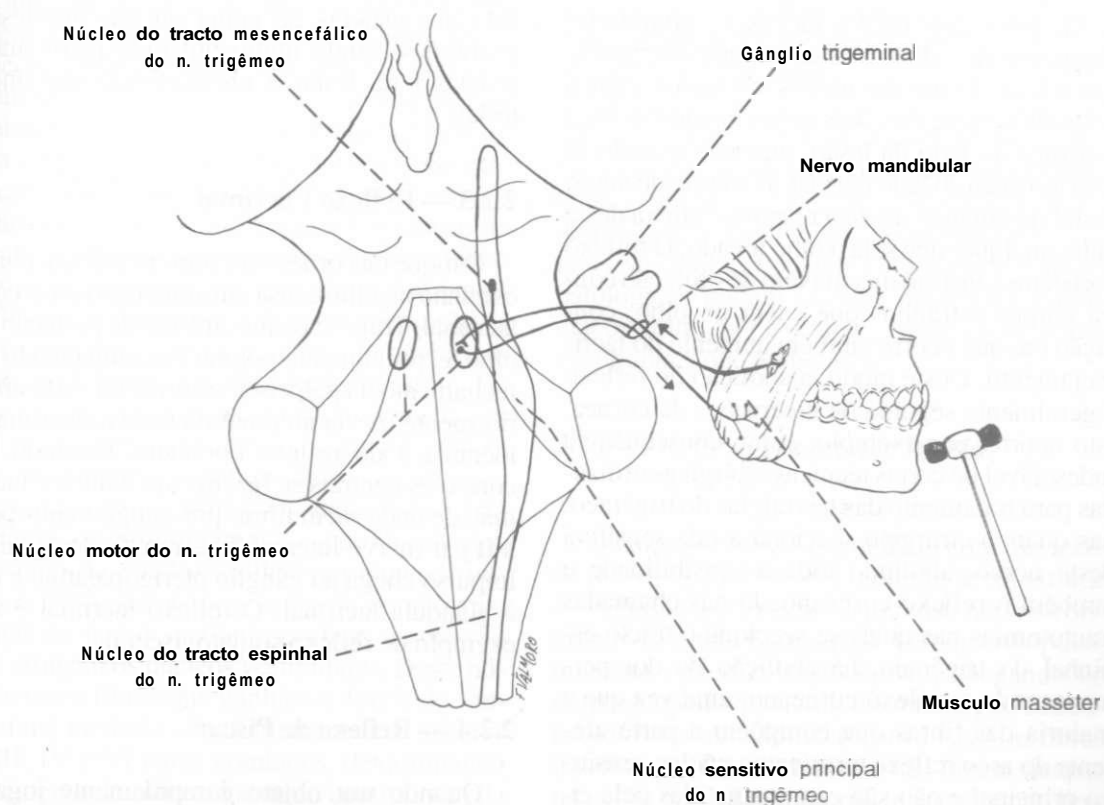



Fig. 19.5 — *Esquema do reflexo mandibular.*

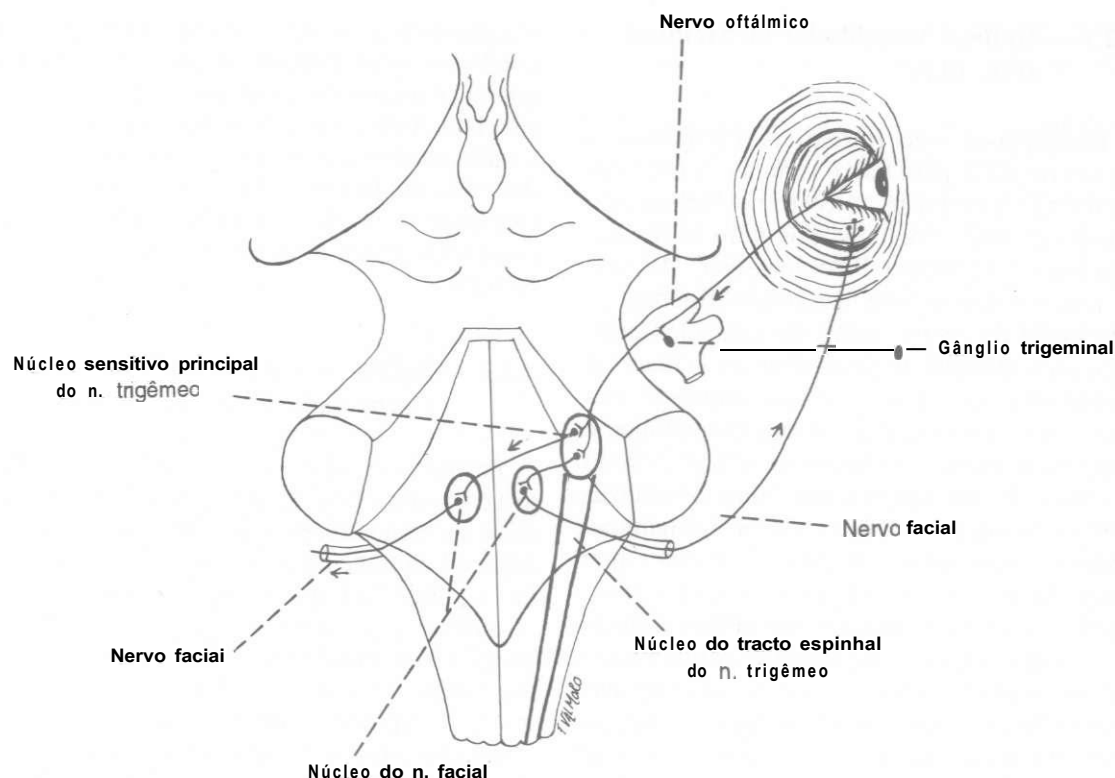



Fig. 19.6 — *Esquema do reflexo corneano.*

se faz pelos dois nervos faciais, resultando fechamento dos dois olhos. Entende-se, assim, que a lesão de um dos nervos trigêmeos abole a resposta reflexa dos dois lados quando se toca a córnea do lado da lesão, mas não quando se toca a córnea do lado normal. Já a lesão do nervo facial de um lado abole a resposta reflexa deste lado, qualquer que seja o olho tocado. O reflexo corneano constitui mecanismo de proteção contra corpos estranhos que caem no olho, condição em que ocorre também aumento do lacrimejamento. Deste modo, a abolição do reflexo é geralmente seguida de ulcerações da córnea. Isto ocorre, por exemplo, como conseqüência indesejável de certas técnicas cirúrgicas utilizadas para tratamento das nevralgias do trigêmeo, nas quais o cirurgião secciona a raiz sensitiva deste nervo, abolindo toda a sensibilidade e também o reflexo corneano. Já nas chamadas tractotomias nas quais se secciona o tracto espinhal do trigêmeo, há abolição da dor permanecendo o reflexo corneano, uma vez que a maioria das fibras que compõem a parte aferente do arco reflexo termina no núcleo seasitivo principal e não são comprometidas pela cirurgia. O reflexo corneano é diminuído ou abolido nos estados de coma ou nas anestesias profundas, sendo muito utilizado pelos anestesistas para testar a profundidade das anestesias.

2.2.3 — Reflexo Lacrimal

O toque da córnea ou a presença de um corpo estranho no olho causa um aumento da secreção lacrimal. Trata-se de mecanismo de proteção do olho, especialmente porque é acompanhado do fechamento da pálpebra, como já foi visto anteriormente. A via aferente do reflexo lacrimal é idêntica à do reflexo corneano. Contudo, as conexões centrais se fazem com o núcleo lacrimal, de onde saem libras pré-ganglionares pelo VII par (nervo intermédio), através dos quais o impulso chega ao gânglio pterigopalatino e daí à glândula lacrimal. O reflexo lacrimal é um exemplo de reflexo somatovisceral.

2.2.4 — Reflexo de Piscar

Quando um objeto é rapidamente jogado diante do olho, ou quando fazemos um rápido

movimento como se fôssemos tocar o olho de uma pessoa com a mão, a pálpebra se fecha. A resposta é reflexa e não pode ser inibida voluntariamente. Fibras aferentes da retina vão ao colículo superior (através do nervo óptico, tracto óptico e braço do colículo superior), de onde saem fibras para o núcleo do nervo facial. Pelo nervo facial, o impulso chega ao músculo orbicular do olho, determinando o piscar da pálpebra. Interessante é que, se o estímulo for muito intenso, impulsos do tecto vão aos neurônios motores da medula através do tracto tecto-espinhal, havendo uma resposta motora que pode fazer com que o indivíduo, reflexamente, proteja o olho com a mão.

2.2.5 — Reflexo de Movimentação dos Olhos por Estímulos Vestibulares. Nistagmo

Este reflexo tem por finalidade manter a fixação do olhar em um objeto que interessa, quando esta fixação tende a ser rompida por movimentos do corpo ou da cabeça. Para melhor entendê-lo, imaginemos um indivíduo que vai andando a cavalo fixando os olhos em um objeto em sua frente. A cada trepidação da cabeça, o olho se move em sentido contrário, mantendo o olhar fixo no objeto. Assim, quando a cabeça se move para baixo, os olhos se movem para cima, e vice-versa. Se não houvesse este mecanismo automático e rápido para a compensação dos desvios causados pela trepidação do cavalo, o objeto estaria sempre saindo da mácula, ou seja, da parte da retina onde a visão é mais distinta. Os receptores para este reflexo são as cristas dos canais semicirculares do ouvido interno, onde existe um líquido, a endolinfa. Os movimentos da cabeça causam movimento da endolinfa dentro dos canais semicirculares e este movimento determina deslocamento dos cílios das células sensoriais das cristas. Isto estimula os prolongamentos periféricos dos neurônios do gânglio vestibular, originando impulsos nervosos que seguem pela porção vestibular do nervo vestíbulo-coclear, através do qual atingem os núcleos vestibulares. Deste núcleos saem fibras que ganham o fascículo longitudinal medial e vão diretamente aos núcleos do III, IV e VI pares cranianos, determinando movimento do olho em sentido contrário ao da cabeça.

Vimos os movimentos reflexos do olho em resposta a estímulos vestibulares e sua importância em condições normais para manter a fixação do olhar em pontos que nos interessam. Quando, entretánto, as cristas dos canais semicirculares são submetidas a estímulos exagerados, maiores do que os normalmente encontrados, o comportamento do olho é um pouco diferente. Assim, quando se roda rapidamente um indivíduo em uma cadeira, há um estímulo exagerado das cristas dos canais laterais, causado pelo movimento da endolinfa, que continua a girar dentro dos canais, mesmo depois que a cadeira parou. Neste caso, os olhos desviam-se para um lado até o máximo de contração dos músculos retos, voltam-se rapidamente à posição anterior para logo iniciarem novo desvio. A sucessão destes movimentos confere aos olhos um movimento oscilatório de vaivém denominado *nistagmo.* Um outro modo de desencadear o nistagmo consiste em fazer passar por um dos meatos acústicos externos uma corrente de água quente, o que determina movimento de convecção da endolinfa nos canais semicirculares e, conseqüentemente, estimulação das cristas. Se for usada água fria, o deslocamento da endolinfa será em sentido oposto, o que determinará um nistagmo de sentido oposto ao que se obtém com água quente.

As características do nistagmo provocado, tais como direção e intensidade, permitem testar a excitabilidade de cada canal semicircular, dando valiosas informações para o diagnóstico de processos patológicos que acometem o sistema vestibular. Por outro lado, em condições patológicas podem ocorrer nistagmos espontâneos como, por exemplo, em casos de lesões vestibulares ou cerebelares.

2.2.6 — Reflexo Fotomotor Direto (Fig. 14.3)

Quando um olho é estimulado com um feixe de luz, a pupila deste olho contrai-se em virtude do seguinte mecanismo: o impulso nervoso originado na retina é conduzido pelo nervo óptico, quiasma óptico e tracto óptico, chegando ao corpo geniculado lateral. Entretanto, ao contrário das fibras relacionadas com a visão, as fibras ligadas ao reflexo fotomotor não fazem sinapse no corpo geniculado lateral, mas ganham o braço do colículo superior, terminando em neurô-

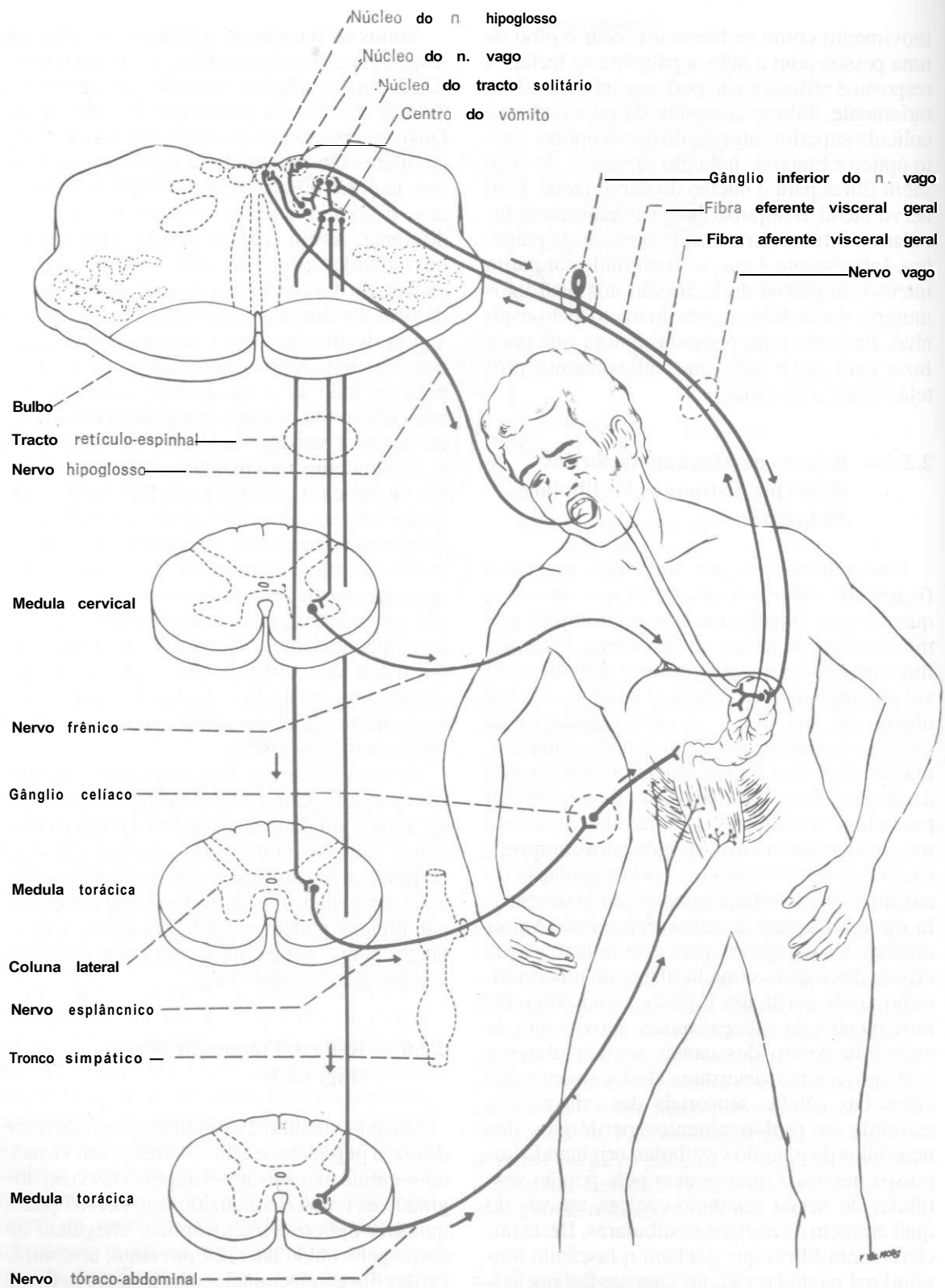



Fig. 19.7 — *Esquema da reflexo do vômito.*

nios da *área pré-tectal* (Fig. 14.3). Daí saem fibras que terminam fazendo sinapse com os neurônios do núcleo de *Edinger- Westphal.* Deste núcleo saem fibras pré-ganglionares que pelo III par vão ao *gânglio ciliar,* de onde saem fibras pós-ganglionares que terminam no músculo esfíncter da pupila, determinando sua contração.

O reflexo fotomotor é de grande importância clínica, podendo estar abolido em lesões da retina, do nervo óptico ou do nervo oculomotor.

2.2.7 — Reflexo Consensual

Pesquisa-se este reflexo estimulando-se a retina de um olho com um jato de luz e observando-se a contração da pupila do lado oposto. O impulso nervoso cruza o plano mediano no quiasma óptico e na comissura posterior, neste caso através dc fibras que, da área pré-tectal de um lado, cruzam para o núcleo de Edinger-Westphal do lado oposto.

2.2.8 — Reflexo do Vômito (Fig. 19.7)

O reflexo do vômito pode ser desencadeado por várias causas, sendo mais freqüentes as que resultam de irritação da mucosa gastrointestinal. Neste caso situa-se, por exemplo, o vômito decorrente de ingestão excessiva de bebidas alcoólicas, obviamente um mecanismo de defesa visando impedir a passagem para o sangue de uma grande quantidade dc álcool. A irritação da mucosa gastrointestinal estimula visceroceptores aí existentes (Fig. 19.7), originando impulsos aferentes que, pelas fibras aferentes viscerais do vago, chegam ao núcleo do tracto solitário. Daí saem fibras que levam impulsos ao *centro do vômito* situado na formação reticular do bulbo. Deste centro saem fibras que se ligam às áreas responsáveis pelas respostas motoras que vão desencadear o vômito. Estas libras são as seguintes (Fig. 19.7):

a) libras para o núcleo dorsal do vago — de onde os impulsos, pelas fibras pré-ganglionares do vago, após sinapse em neurônios pós-ganglionares situados na parede do estômago, chegam a este órgão, aumentando sua contração e determinando a abertura do cárdia;

b) libras que pelo tracto retículo-espinhal chegam â coluna lateral da medula — daí saem fibras simpáticas pré-ganglionares que, pelos nervos esplâncnicos, chegam aos gânglios celíacos. Fibras pós-ganglionares originadas nestes gânglios levam os impulsos ao estômago, determinando o fechamento do piloro;

c) libras que pelo tracto retículo-espinhal, chegam à medula cervical onde se localizam os neurônios motores, cujos axônios constituem o nervo frênico. Os impulsos nervosos que seguem pelo nervo frênico vão determinar a contração do diafragma:

d) fibras que pelo tracto retículo-espinhal chegam aos neurônios motores da medula onde se originam os nervos tóraco-abdominais. Estes inervam os músculos da parede abdominal, cuja contração aumenta a pressão intra-abdominal, talvez o fator mais importante no mecanismo do vômito;

c) libras para o núcleo do hipoglosso — cuja ação resulta na protrusão da língua.

Capítulo 20

Formação Reticular e Neurônios Monoaminérgicos do Tronco Encefálico

A — FORMAÇÃO RETICULAR

1.0 — CONCEITO E ESTRUTURA

Denomina-se *formação reticular* a uma agregação mais ou menos difusa de neurônios de tamanhos e tipos diferentes, separados por uma rede de fibras nervosas que ocupa a parte central do tronco encefálico. A formação reticular tem, pois, uma estrutura que não corresponde exatamente à da substância branca ou cinzenta, sendo, de um certo modo, intermediária entre elas. Trata-se de uma região muito antiga do sistema nervoso, que, embora pertencendo basicamente ao tronco encefálico, se estende um pouco ao diencéfalo e aos níveis mais altos da medula, onde ocupa pequena área do funículo lateral. No tronco encefálico ocupa uma grande área, preenchendo todo o espaço que não é preenchido pelos tractos, fascículos e núcleos de estrutura mais compacta.

Até o início do século, quase nada se sabia sobre a formação reticular. Com os trabalhos fundamentais de Moruzzi e Magoun (1949), que mostraram seu importante papel na ativação do córtex cerebral, iniciou-se uma verdadeira corrida de pesquisas sobre esta área. Pesquisas citoarquiteturais detalhadas* mostraram que a formação reticular não tem estrutura homogênea, podendo-se delimitar grupos mais ou menos bem definidos de neurônios, que constituem os *núcleos da formação reticular.* Entre eles, destacam-se por sua importância funcional os seguintes:

a) *núcleos da rafe* — trata-se de um conjunto de oito núcleos, entre os quais um dos mais importantes é o *nucleus raphe magnus,* que se dispõe ao longo da linha mediana (rafe mediana) em toda extensão do tronco encefálico. Os núcleos da rafe contêm neurônios ricos em serotonina, alguns dos quais, como será visto mais adiante, com funções importantes;
b) *locus ceruleus* — situado logo abaixo da área de mesmo nome no assoalho do IV ventrículo (Fig. 5.2), este núcleo apresenta células ricas em noradrenalina;
c) *substância cinzenta periaquedutal* — também chamada *substância cinzenta central,* corresponde à substância cinzenta que circunda o aqueduto cerebral (Figs. 18.1, 18.2). Embora tenha uma estrutura bastante compacta, essa região é considerada um núcleo da formação reticular, importante na regulação da dor;
d) *área tegmentar ventral* — situada na parte ventral do tegmento do mesencéfalo, medialmente à substância negra, contém neurônios ricos em dopamina.

Do ponto de vista citoarquitetural, a formação reticular pode ser dividida em uma *zona magnocelular,* de células grandes que ocupam seus 2/3 mediais, e uma *zona parvocelular*, de células pequenas que ocupam o terço lateral. A zona magnocelular dá origem às vias ascendentes e descendentes longas e pode ser considerada a zona efetuadora da formação reticular. Um aspecto interessante mostrado com técnicas de impregnação metálica é que muitos neurônios da formação reticular têm axônios muito

* *Veja Bradai, A. — 1958 — The reticular formation of the brain stem, Springfield C.C. Thomas.*

grandes que se bifurcam dando um ramo ascendente e outro descendente, os quais se estendem ao longo de todo o tronco encefálico, podendo atingir a medula e o diencéfalo.

Um grande número de pesquisas com técnicas histoquímicas mostrou que, também do ponto de vista bioquímico, a formação reticular não é homogênea, havendo neurônios com vários tipos de neurotransmissores, destacando-se as monoaminas, como a noradrcnalina, a serotonina e a dopamina, que serão estudadas na segunda parte deste capítulo.

2.0 — CONEXÕES DA FORMAÇÃO RETICULAR

A formação reticular possui conexões amplas e variadas. Além de receber impulsos que entram pelos nervos cranianos, ela mantém relações nos dois sentidos com o cérebro, o cerebelo e a medula, como será visto a seguir:

a) *conexões com o cérebro* — a formação reticular projeta fibras para todo o córtex cerebral, por via talâmica e extratalâmica. Projeta-se também para outras áreas do diencéfalo. Por outro lado, várias áreas do córtex cerebral, do hipotálamo e do sistema límbico enviam fibras descendentes à formação reticular;

b) *conexões com o cerebelo* — existem conexões nos dois sentidos entre o cerebelo e a formação reticular;

c) *conexões com a medula* — dois grupos principais de fibras ligam a formação reticular à medula, as *fibras rafe-espinhais** e as fibras que constituem o importante *tracto retículo-espinhal* Por outro lado, a formação reticular recebe informações provenientes da medula através das *fibras e spino-reticulares*;

e) *conexões com núcleos dos nervos cranianos* — os impulsos nervosos que entram pelos nervos cranianos sensitivos ganham a formação reticular através das fibras que a ela se dirigem a partir de seus núcleos**.

3.0 — FUNÇÕES DA FORMAÇÃO RETICULAR

Embora sucinta, a análise das conexões da formação reticular feita no item anterior mostra que estas são extremamente amplas. Isso nos permite concluir que a formação reticular influencia quase todos os setores do sistema nervoso central, o que é coerente com o grande número de funções que lhe tem sido atribuídas. Procurando acentuar as áreas e as conexões envolvidas, estudaremos a seguir suas principais funções, distribuídas nos seguintes tópicos:

a) Controle da atividade elétrica cortical. Sono e vigília
b) Controle eferente da sensibilidade
c) Controle da motricidade somática
d) Controle do sistema nervoso autônomo
e) Controle neuroendócrino
f) Integração de reflexos. Centro respiratório e vasomotor

3.1 — CONTROLE DA ATIVIDADE ELÉTRICA CORTICAL. SONO E VIGÍLIA

Uma das descobertas mais importantes e ao mesmo tempo mais surpreendentes da neurobiologia moderna é que a atividade elétrica do córtex cerebral, de que dependem os vários níveis de consciência, é regulada basicamente pela formação reticular do tronco encefálico. Graças aos trabalhos fundamentais de Bremer (1936), Moruzzi e Magoun (1949), descobriu-se que a formação reticular é capaz de ativar o córtex cerebral, a partir do que se criou o conceito de *sistema ativador reticular ascendente* (SARA), importante na regulação do *sono* e da *vigília,* o que será estudado a seguir.

3.1.1 — O Sistema Ativador Reticular Ascendente (SARA)

Antes de relatarmos as principais experiências que permitiram concluir que a formação reticular tem uma ação ativadora sobre o córtex cerebral, é necessário dar algumas noções sobre a atividade elétrica do córtex. Sabe-se que o córtex cerebral tem uma atividade elétrica espontânea, que pode ser detectada colocando-se eletrodos em sua superfície (eletrocorticogra-

* ***Por razões didáticas, estamos simplificando, pois na realidade são dois os tractos retículo-espinhais (veja rodapé na página 157). Descem para a medula também fibras ceruleo-espinhais, de função ainda discutida.***

** ***Admite-se que informações visuais e olfatórias também ganham a formação reticular respectivamente através das conexões tecto-reticulares e do feixe prosencefálico medial.***

ma) ou no próprio crânio (eletroencefalograma, EEG). Os traçados elétricos que se obtêm de um indivíduo ou de um animal dormindo (*traçados de sono*) são muito diferentes dos obtidos de um indivíduo ou animal acordado (*traçados de vigília*), sendo dessincronizados nestes e sincronizados naqueles*.

As primeiras experiências que relacionam o tronco encefálico à atividade elétrica cortical de sono ou vigília foram feitas por Bremer em 1936, tomando potenciais corticais cm gatos após secções do neuroeixo. Secções na transição entre o bulbo e a medula ou no mesencéfalo, entre os dois colículos, resultavam nas 'preparações' conhecidas, respectivamente, como *encéfalo isolado* e *cérebro isolado*. Bremer verificou que um cérebro isolado tem somente um traçado de sono (o animal dorme sempre), enquanto um encéfalo isolado mantém o ritmo diário normal de sono e vigília, ou seja, o animal dorme e acorda. Dessa experiência ele concluiu que o ritmo normal de sono e vigília depende de mecanismos localizados no tronco encefálico. Uma série de pesquisas feitas principalmente por Magoun e Moruzzi mostrou que esses mecanismos envolvem a formação reticular. Assim. verificou-se que um animal sob anestesia ligeira (EEG de sono) acorda quando se estimula eletricamente a formação reticular, e um animal acordado dorme quando se destrói a parte mais cranial da formação reticular. Conclui-se que existe na formação reticular um sistema dc libras ascendentes que se projetam no córtex cerebral e sobre ele têm uma ação ativadora. Surgiu assim o conceito de sistema ativador reticular ascendente (SARA). Sabe-se hoje que a ação do SARA sobre o córtex se faz através das conexões da formação reticular com os chamados núcleos inespecíficos do tálamo (veja Capítulo 25). Sabe-se também que, além de seguirem suas vias específicas, os impulsos sensoriais que chegam ao sistema nervoso central pelos nervos espinhais e cranianos passam também à formação reticular e ativam o SARA. Isso se faz não só através de ramos colaterais que se destacam das vias específicas, mas principalmente através de fibras espino-reticulares ou das conexões dos núcleos dos nervos cranianos com a formação reticular. Temos assim a situação em que os impulsos nervosos sensoriais ganham o córtex. seja através de vias relacionadas com modalidades específicas de sensação, seja através do SARA, em que esses impulsos perdem sua especificidade e se tornam apenas ativadores corticais**. Entende-se assim por que os indivíduos acordam quando submetidos a fortes estímulos sensoriais como. por exemplo, um ruído muito alto. Isso se deve não à chegada de impulsos nervosos na área auditiva do córtex. mas à ativação de todo o córtex pelo SARA, o qual, por sua vez. é ativado por fibras que se destacam da própria via auditiva. Assim, se forem lesadas estas vias depois de seu trajeto pela formação reticular, embora não cheguem impulsos na área auditiva do córtex. o animal acorda com o ruído (ele acorda. mas não ouve). Por outro lado, se forem mantidas intactas as vias auditivas e lesada a parte mais cranial da formação reticular, o animal dorme mesmo quando submetido a fortes ruídos, apesar de chegarem impulsos auditivos na área de seu córtex. É fácil entender também que uma redução de estímulos sensoriais facilita o sono. diminuindo a ação ativadora da formação reticular sobre o córtex. Por outro lado. o próprio córtex, através de conexões córtico-reticulares. é capaz de ativar a formação reticular, mantendo assim sua própria ativação. Acredita-se ser este o mecanismo que nos permite até certo ponto inibir 'voluntariamente' o sono normal.

3.1.2 — Regulação do Sono

A descoberta do sistema ativador reticular ascendente veio explicar por que os indivíduos acordam. mas não explicou satisfatoriamente por que eles dormem. Durante algum tempo pensou-se que o sono seria um fenômeno passivo. resultante da falta de ativação da formação reticular. Contudo. numerosas pesquisas vieram mostrar que isso não é verdade e que o sono depende da ação de certos núcleos da formação reticular. Verificou-se que, embora os estímulos elétricos da formação reticular resultem quase sempre em ativação cortical, certos estímulos em áreas específicas da formação reticular do

---

* *Os traçados elétricos dessincronizados (dc vigília) apresentam ondas de alta freqüência e baixa amplitude, enquanto os traçados sincronizados (dc sono) apresentam baixa freqüência c alta amplitude.*

** *Estas vias inespecíficas costumam ser chamadas extralemniscais, em oposição às lemniscais. que veiculam impulsos sensoriais específicos.*

bulbo e da ponte produzem efeito contrário, ou seja, sono. Por outro lado, como já foi visto, se a secção do tronco encefálico ao nível dos colículos resulta em uma 'preparação' que dorme sempre, uma 'preparação' seccionada no meio da ponte não dorme nunca. Admite-se que isso se deva à secção das conexões ascendentes dos núcleos da rafe, principais responsáveis pelo sono. Lesões desses núcleos causam insônia permanente. Portanto, a formação reticular contém mecanismos capazes de regular o sono de maneira ativa. Sabe-se que o sono, do ponto de vista eletroencefalográfico, não é homogêneo, comportando vários estágios. Entre estes destaca-se o estágio de *sono paradoxal,* assim denominado porque, embora o indivíduo se encontre profundamente adormecido, seu traçado eletroencefalográfico é dessincronizado, ou seja, assemelha-se ao do indivíduo acordado.

Fato curioso é que durante o sono paradoxal há um grande relaxamento muscular, e os olhos movem-se rapidamente*. Nessa fase do sono ocorre a maioria dos sonhos. Sabe-se hoje que o sono paradoxal é ativamente desencadeado a partir de grupos neuronais situados na formação reticular, entre os quais um dos mais importantes parece ser o *locus ceruleus.* Convém lembrar que, embora a formação reticular seja a área do sistema nervoso central mais importante para a regulação do sono e da vigília, outras áreas, especialmente o hipotálamo, também estão envolvidas e com ela interagem nessa regulação.

3.2 — CONTROLE EFERENTE DA SENSIBILIDADE

Sabe-se que o sistema nervoso é, até certo ponto, capaz de selecionar as informações sensoriais que lhe chegam, eliminando ou diminuindo algumas e concentrando-se em outras, o que configura um fenômeno de *atenção seletiva.* Assim, por exemplo, quando prestamos atenção em um filme, deixamos de perceber as sensações táteis da cadeira do cinema. Do mesmo modo, podemos ignorar um ruído ambiental, especialmente quando ele é contínuo, como por exemplo o barulho de um ventilador, quando estamos muito interessados na leitura de um livro. Isto se faz por um mecanismo ativo, envolvendo fibras eferentes ou centrífugas capazes de modular a passagem dos impulsos nervosos nas vias aferentes específicas. Há ampla evidência de que esse controle eferente da sensibilidade se faz principalmente por fibras originadas na formação reticular. Dentre estas destacam-se por sua grande importância clínica as fibras que inibem a penetração no sistema nervoso central de impulsos dolorosos, caracterizando as chamadas vias de analgesia. O estudo detalhado dessas vias, que envolvem a substância cinzenta periaquedutal, o núcleo magno da rafe e as fibras rafe-espinhais, será feito no Capítulo 29, item 4.1.

3.3 — CONTROLE DA MOTRICIDADE SOMÁTICA

Sabe-se há muito tempo que a formação reticular exerce uma ação controladora sobre a motricidade somática. Assim, verificou-se que a estimulação elétrica dessa formação resulta, conforme a área, em ativação ou inibição da atividade dos neurônios motores medulares. A influência da formação reticular sobre esses neurônios se faz através do tracto retículo-espinhal, que se origina em áreas da formação reticular do bulbo e da ponte.

Parte das funções motoras da formação reticular relaciona-se com as aferências que recebe das áreas motoras do córtex cerebral e do cerebelo. As primeiras, através da via córtico-retículo-espinhal, controlam a motricidade voluntária dos músculos axiais e apendiculares proximais, as segundas enquadram-se nas funções do cerebelo de regulação automática do equilíbrio, do tônus e da postura, agindo também sobre os mesmos grupos musculares. Entretanto, há evidência de que o tracto retículo-espinhal veicula também comandos motores descendentes gerados na própria formação reticular e relacionados com alguns padrões complexos e estereotipados de movimentos, como por exemplo os da locomoção.

3.4 — CONTROLE DO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO

Vimos que os dois centros supra-segmentares mais importantes para o controle do sis-

* *Por essa razão, o sono paradoxal é também denominado sono MOR (sono com Movimentos Oculares Rápidos) ou sono REM (do inglês:* Rapid Eye Movements).

tema nervoso autônomo são o sistema límbico e o hipotálamo. Ambos têm amplas projeções para a formação reticular, a qual, por sua vez, se liga aos neurônios pré-ganglionares do sistema nervoso autônomo, estabelecendo-se assim o principal mecanismo de controle da formação reticular sobre esse sistema.

3.5 — CONTROLE NEUROENDÓCRINO

Sabe-se que estímulos elétricos da formação reticular do mesencéfalo causam liberação de ACTH e de hormônio antidiurético. Sabe-se também que no controle hipotalâmico da liberação de vários hormônios adeno-hipofisários estão envolvidos mecanismos noradrenérgicos e serotoninérgicos, o que presumivelmente envolve a formação reticular, uma vez que nela se originam quase todas as fibras contendo essas monoaminas que se dirigem ao hipotálamo.

3.6 — INTEGRAÇÃO DE REFLEXOS. CENTRO RESPIRATÓRIO E VASOMOTOR

Já há bastante tempo os fisiologistas identificaram na formação reticular uma série de centros que, ao serem estimulados eletricamente, desencadeiam respostas motoras, somáticas ou viscerais, características de fenômenos como vômito, deglutição, locomoção, mastigação, movimentos oculares, além de alterações respiratórias e vasomotoras. Esses centros funcionam como geradores de padrões de atividade motora estereotipada *(pattern generators)* e podem ter sua atividade iniciada ou modificada seja por estímulos químicos, por comandos centrais (corticais ou hipotalâmicos) ou por aferências sensoriais. Neste último caso funcionam como centros integradores de reflexos em que os impulsos aferentes dão origem a seqüências motoras complicadas cuja execução envolve núcleos e áreas diversas e às vezes distantes do sistema nervoso central.

Um exemplo de reflexo desse tipo é o do vômito, descrito no capítulo anterior (item 2.2.8) onde se mostra também o funcionamento do *centro do vômito,* situado na formação reticular do bulbo, próximo ao núcleo do tracto solitário, estendendo-se até a parte inferior da ponte, onde se situa o *centro da deglutição.* Na formação reticular da ponte próxima ao núcleo do nervo abducente, situa-se também o *núcleo parabducente,* considerado o centro controlador dos movimentos conjugados dos olhos no sentido horizontal. Na formação reticular do mesencéfalo situa-se o *centro locomotor,* que, no homem, age em conjunto com os centros locomotores da medula. Por sua enorme importância, merecem destaque o *centro respiratório* e o *centro vasomotor,* que controlam não só o ritmo respiratório, como também o ritmo cardíaco e a pressão arterial, funções indispensáveis à manutenção da vida. São, pois, centros vitais, cuja presença no bulbo torna qualquer lesão desse órgão extremamente perigosa. Os centros respiratório e vasomotor diferem dos demais por funcionarem como osciladores, ou seja, apresentam atividade rítmica espontânea e sincronizada respectivamente com os ritmos respiratório e cardíaco. Ao que parece, essa atividade rítmica é endógena, ou seja, independente das aferências sensoriais. A seguir, o funcionamento desses dois centros é estudado de maneira sucinta, ficando os detalhes para os livros de fisiologia.

3.6.1 — Controle da Respiração. Centro Respiratório

Informações sobre o grau de distensão dos alvéolos pulmonares continuamente são levadas ao núcleo do tracto solitário pelas fibras aferentes viscerais gerais do nervo vago. Desse núcleo os impulsos nervosos passam ao *centro respiratório.* Este localiza-se na formação reticular do bulbo e apresenta uma parte dorsal, que controla a inspiração, e outra ventral, que regula a expiração*. Do centro respiratório saem fibras retículo-espinhais que terminam fazendo sinapse com os neurônios motores da porção cervical e torácica da medula. Os primeiros dão origem às fibras que, pelo nervo frênico, vão ao diafragma. Os que se originam na medula torácica dão origem às fibras que, pelos nervos intercostais, vão aos músculos intercostais. Essas vias são importantes para a manutenção

***

* ***Alguns autores consideram também como pertencendo ao centro respiratório o chamado centro pneumotáxico, situado na formação reticular da ponte e que transmite impulsos inibitórios para a parte inspiratória do centro respiratório pontino.***

reflexa ou automática dos movimentos respiratórios. Entretanto, os neurônios motores relacionados com os nervos frênico e intercostais recebem também fibras do tracto córtico-espinhal, o que pernúte o controle voluntário da respiração.

Convém lembrar que o funcionamento do centro respiratório é bem mais complicado. Ele está sob influência do hipotálamo, o que explica as modificações do ritmo respiratório em certas situações emocionais. Por outro lado, sabe-se que o aumento do teor de CO_2 no sangue tem uma ação estimuladora direta sobre este centro, que recebe ainda impulsos nervosos originados no corpo carotídeo. Os quimiorreceptores do corpo carotídeo são sensíveis à diminuição do oxigênio do sangue, originando impulsos que chegam ao centro respiratório através de fibras do nervo glossofaríngeo, após sinapse no núcleo do tracto solitário.

3.6.2 — Controle Vasomotor

Situado na formação reticular do bulbo, o *centro vasomotor* coordena os mecanismos que regulam o calibre vascular, do qual depende basicamente a pressão arterial, influenciando também o ritmo cardíaco. Informações sobre a pressão arterial chegam ao núcleo do tracto solitário a partir de barorreceptores situados principalmente no seio carotídeo, trazidas pelas fibras aferentes viscerais gerais do nervo glossofaríngeo. Do núcleo do tracto solitário, os impulsos passam ao centro vasomotor, que coordena a resposta eferente. Desse centro saem fibras para os neurônios pré-ganglionares do núcleo dorsal do vago, resultando impulsos parassimpáticos. Saem também fibras retículo-espinhais para os neurônios pré-ganglionares da coluna lateral, resultando impulsos simpáticos. Na maioria dos vasos, o simpático é vasocoastritor, razão pela qual determina aumento da pressão. O centro vasomotor está ainda sob controle do hipotálamo. responsável pelo aumento da pressão arterial resultante de situações emocionais.

4.0 — CONSIDERAÇÕES ANATOMOCLÍNICAS

Um dos conceitos mais importantes surgidos na pesquisa neurobiológica deste século é que o córtex cerebral, apesar de sua elevada posição na hierarquia do sistema nervoso, é incapaz de funcionar por si próprio de maneira consciente. Para isto depende de impulsos ativadores que recebe da formação reticular do tronco encefálico. Esse fato trouxe novos subsídios para a compreensão dos distúrbios da consciência permitindo entender o que os antigos neurologistas já haviam constatado: os processos patológicos, mesmo localizados, que comprimem o mesencéfalo ou a transição deste com o diencéfalo quase sempre levam a uma perda total da consciência, isto é, ao *coma*. Sabe-se hoje que isso se deve à lesão da formação reticular com interrupção do sistema ativador reticular ascendente.

Os processos patológicos responsáveis por tal conseqüência em geral desenvolvem-se abaixo da tenda do cerebelo, ou seja. são infratentoriais. Entretanto, minores ou hematomas que levem a um aumento da pressão no compartimento supratentorial podem causar uma hérnia do úncus, que, ao insinuar-se entre a incisura da tenda e o mesencéfalo, comprime este último e produz um quadro de coma. Cabe assinalar também que existem outras causas de coma em que ocorre um comprometimento direto e generalizado do próprio córtex cerebral. Na realidade, um dos problemas principais do neurologista na avaliação clínica de um paciente em coma é saber se o quadro se deve a um envolvimento generalizado do córtex cerebral ou decorre primariamente de um processo localizado no tronco encefálico.

B — NEURÔNIOS MONOAMINÉRGICOS DO TRONCO ENCEFÁLICO

1.0 — GENERALIDADES

A partir da década de 1950, os cientistas verificaram a presença no sistema nervoso central de algumas monoaminas, substancias formadas pela decarboxilação de certos aminoácidos. Foi quando surgiram as primeiras hipóteses sobre seu papel na regulação de processos mentais. Duas dessas monoaminas, a adrenalina e a noradrenalina, já eram conhecidas há bastante tempo no sistema nervoso periférico como neurotransmissores simpáticos.

São conhecidas hoje no sistema nervoso central dos vertebrados as seguintes monoaminas: *dopamina, noradrenalina, adrenalina, serotonina* e *histamina.* As três primeiras pertencem ao grupo das catecolaminas; a serotonina ou 5-hidroxitriptamina pertence — como a melatonina, o hormônio da glândula pineal — ao grupo das triptaminas; a histamina é um derivado do aminoácido histidina.

Dessas monoaminas, as mais importantes são a serotonina, a noradrenalina e a dopamina. Existe uma vastíssima literatura sobre essas substâncias, sua distribuição no sistema nervoso, seu metabolismo, sua participação nas funções cerebrais e no mecanismo de ação de drogas que atuam sobre o sistema nervoso central. Entre essas drogas, uma das primeiras a ser estudada foi a reserpina, tranqüilizante que atua liberando os estoques de monoaminas do sistema nervoso central. Logo depois descobriu-se a nialamida, droga com ação antidepressiva que age bloqueando a atividade de uma enzima, a monoaminoxidase (MAO), que metaboliza as monoaminas com ação sobre o sistema nervoso central. Várias outras drogas foram descobertas agindo geralmente por interferência no metabolismo das monoaminas. Em virtude desses achados, estas passaram a ter um papel central na **psicofarmacologia**, ou seja, no estudo de drogas que atuam sobre o sistema nervoso central, influenciando as atividades psíquicas.

Sabe-se que as monoaminas funcionam como neurotransmissores, e os neurônios que as contém são denominados *neurônios monoaminérgicos.* Assim, no sistema nervoso dos vertebrados já foram descritos neurônios *serotoninérgicos, noradrenérgicos, dopaminérgicos, adrenérgicos* e *histaminérgicos.* Estes dois últimos ocorrem em territórios relativamente pequenos e suas funções são ainda pouco conhecidas. Diante disso, estudaremos mais detalhadamente apenas os três primeiros.

2.0 — CARACTERÍSTICAS DOS NEURÔNIOS MONOAMINÉRGICOS CENTRAIS

A descoberta de técnicas histoquímicas para monoaminas permitiu visualizar os neurônios monoaminérgicos e seus prolongamentos ao microscópio de fluorescência e contribuiu decisivamente para seu conhecimento. Verificou-se que a morfologia dos neurônios monoaminérgicos centrais é basicamente igual à já descrita para os neurônios pós-ganglionares do sistema simpático (Capítulo 11, item 3.2). Eles possuem uma rede extremamente ramificada de terminais, que podem se estender a regiões muito distantes do pericárdio. Desse modo, apesar de o número de neurônios monoaminérgicos ser relativamente pequeno, seus terminais se distribuem por quase todo o sistema nervoso central. Esses terminais contêm um número enorme de dilatações ou varicosidades ricas em vesículas sinápticas granulares, onde se concentram os neurotransmissores, e são consideradas a parte funcionalmente ativa dos neurônios. Assim, as terminações de um só neurônio dopaminérgico da substância negra do rato tem cerca de 5(X).000 varicosidades, e estima-se que no homem esse número chegue a cinco milhões. Discute-se ainda como atua essa imensa rede de terminais em setores tão diversos do sistema nervoso central, como o córtex cerebral, o hipocampo ou o hipotálamo. Ao que parece, entretanto, os terminais monoaminérgicos agem principalmente como neuromoduladores, ou seja, eles modificam a condução nervosa dos circuitos já existentes nessas áreas.

Um fato importante revelado pelas técnicas histoquímicas é que, apesar de terem terminais em praticamente todo o sistema nervoso central, a grande maioria dos neurônios monoaminérgicos centrais têm seus corpos localizados em áreas relativamente pequenas do tronco encefálico, em especial na formação reticular. Fazem exceção apenas alguns neurônios histaminérgicos, adrenérgicos c dopaminérgicos do hipotálamo, além dos neurônios dopaminérgicos da retina e do bulbo olfatório.

A localização dos neurônios monoaminérgicos do tronco encefálico foi estudada por Dahlstrom e Fuxe (1964)*, que mapearam 21 grupos neuronais, nem sempre correspondendo aos núcleos já conhecidos. Embora o trabalho desses autores tenha sido feito no rato, sabe-se que os padrões de distribuição de neurônios e terminais monoaminérgicos no tronco encefálico são basicamente iguais em todos os mamíferos, in-

---

* *Estes autores usaram uma nomenclatura especial, distinguindo os 12 grupos dc neurônios catecolaminérgicos (A1 a A12) e grupos dc neurônios serotoninérgicos (B1 a B9).*

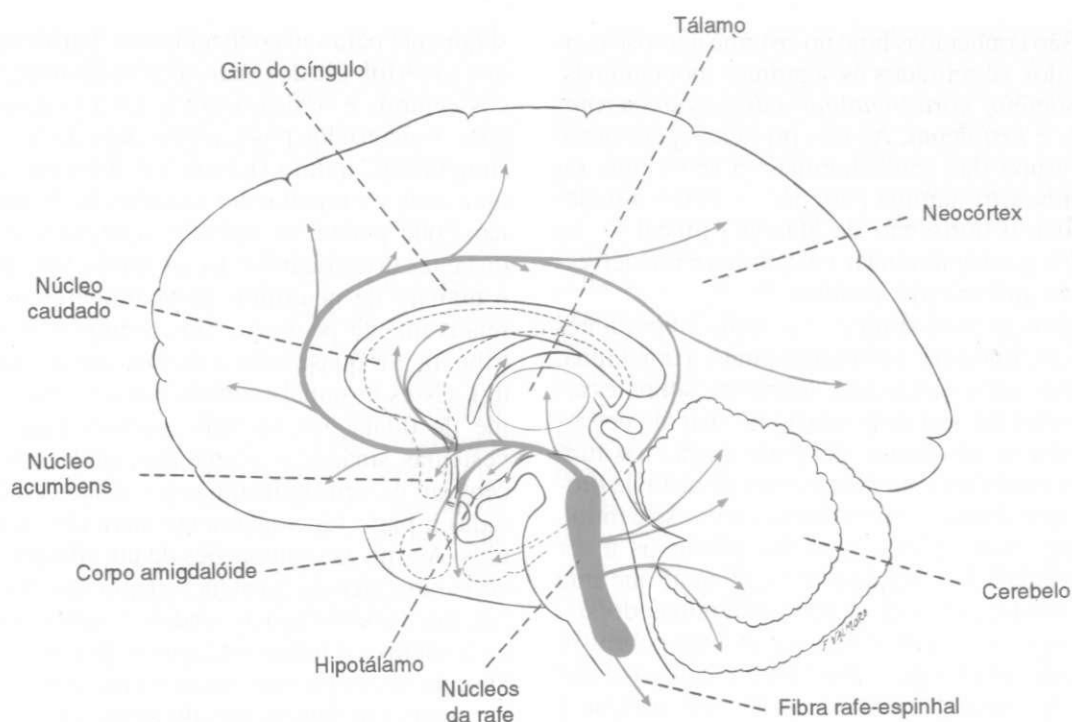



Fig. 20.1 — *Vias serotoninérgicas centrais.*

clusive em mamíferos primitivos como o gambá*. A seguir, estudaremos sucintamente a localização dos principais grupos de neurônios serotoninérgicos, noradrenérgicos e dopaminérgicos do tronco encefálico, assim como suas vias e áreas de distribuição.

3.0 — NEURÔNIOS E VIAS SEROTONINÉRGICAS (Fig. 20.1)

Todos os neurônios serotoninérgicos do tronco encefálico localizam-se na formação reticular, nos núcleos da rafe, que se estendem na linha média, do bulbo ao mesencéfalo. Os axônios originados nos núcleos situados em níveis mais altos têm trajeto ascendente, projetando-se para quase todas as estruturas do prosencéfalo, até mesmo o córtex cerebral, o hipotálamo e o sistema límbico (Fig. 20.1). Alguns núcleos projetam-se para o cerebelo, e aqueles situados no bulbo projetam-se para a medula (Fig. 20.1).

* *Veja Cosenza, R.M. c Machado, A.B.M. — 1978— "Catecholamine containing nerve terminals in the brain stem of the opossum (Didelphis albiventris Lund, 1841)", in E. Rocha-Miranda& Lent, R. Eds.: Opossum Neurobiology. Acad. Bras. dc Ciências, Rio dc Janeiro, pp. 269-288.*

Especialmente importantes são as fibras rafe-espinhais, que do núcleo magno da rafe ganham a substância gelatinosa da medula (Fig. 29.1), onde inibem a entrada de impulsos dolorosos fazendo parte das vias da analgesia (veja Capítulo 29, item 4.1). Como já foi visto, alguns núcleos da rafe e suas projeções serotoninérgicas estão envolvidos no mecanismo do sono. Sua lesão ou a inibição da síntese de serotonina causam insônia permanente.

4.0 — NEURÔNIOS E VIAS NORADRENÉRGICAS

Todos os neurônios noradrenérgicos do sistema nervoso central estão localizados na formação reticular do bulbo e da ponte, distribuindo-se em vários grupos. Destes, o mais importante é o núcleo *locus ceruleus* situado abaixo da área do mesmo nome, no assoalho do IV ventrículo. As projeções noradrenérgicas deste núcleo atingem praticamente todo o sistema nervoso central, inclusive o córtex cerebral. Embora se tenham formulado várias hipóteses para explicar a função das projeções noradrenérgicas da formação reticular, o assunto conti-

nua muito controvertido. Entretanto, há evidência de que as projeções noradrenérgicas do *locus ceruleus* fazem parte dos mecanismos que desencadeiam o sono paradoxal.

5.0 — NEURÔNIOS E VIAS DOPAMINÉRGICAS (Fig. 20.2)

Os neurônios dopaminérgicos do tronco encefálico localizam-se no mesencéfalo, em duas regiões muito próximas; a área *tegmentar ventral,* pertencente à formação reticular, e a *substância negra.* Nessa última, origina-se a via *nigro-estriada* (Fig. 20.2), que termina no corpo estriado, sendo muito importante no controle da atividade motora somática. Na área tegmental ventral origina-se a *via mesolímbica* (Fig. 20.2), que se projeta para o corpo estriado ventral, o sistema límbico e o córtex pré-frontal. Admite-se que a via mesolímbica seja importante na regulação do comportamento emocional. Sua descoberta veio reforçar a chamada teoria dopaminérgica da esquizofrenia, segundo a qual os sintomas psíquicos observados nessa doença resultariam de alterações na transmissão dopaminérgica no sistema límbico e no córtex pré-frontal. Haveria uma hiperatividade na via dopaminérgica mesolímbica, tanto que a administração de drogas que bloqueiam os receptores dopaminérgicos tem efeitos benéficos sobre a doença.

Comparando-se as áreas de projeção das vias dopaminérgicas com as já estudadas para as vias serotoninérgicas e noradrenérgicas, verifica-se que, enquanto estas se distribuem a quase todo o sistema nervoso central (Fig. 20.1), as vias dopaminérgicas têm uma distribuição bem mais restrita e localizada (Fig. 20.2).

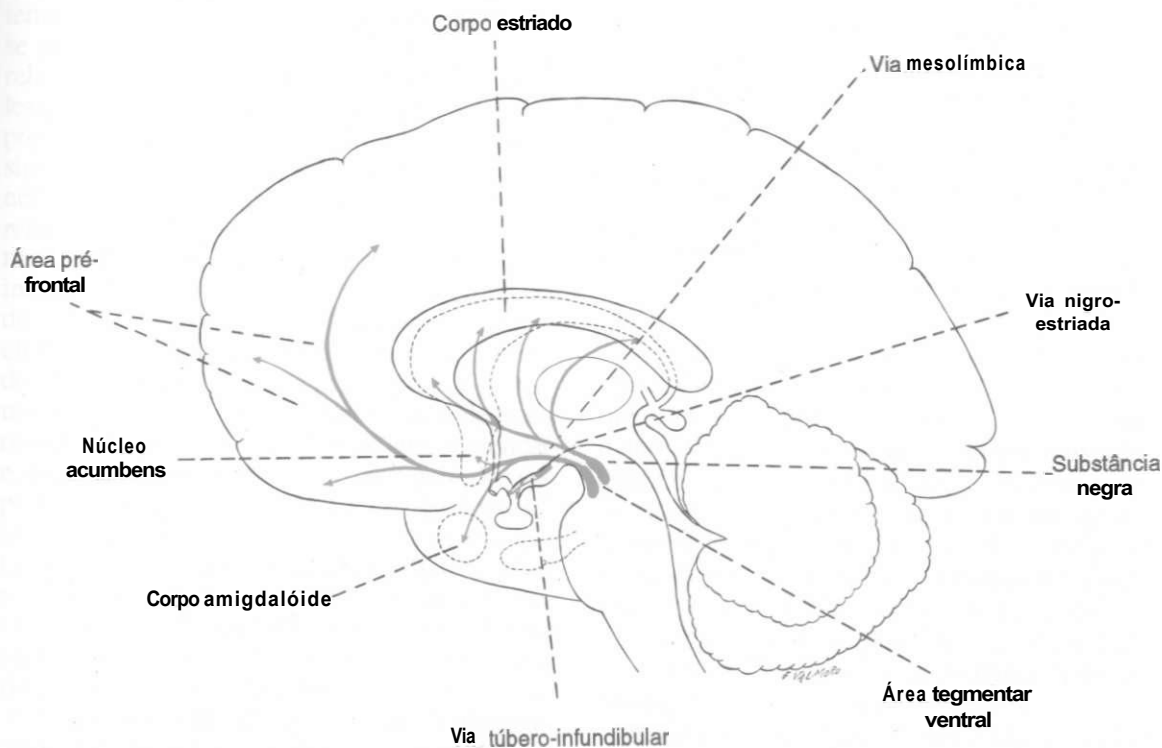



Fig. 20.2 — *Vias dopaminérgicas centrais.*

Capítulo 21

Considerações Anatomoclínicas sobre a Medula e o Tronco Encefálico

1.0 — INTRODUÇÃO

O estudo das lesões e processos patológicos que acometem o sistema nervoso contribui fundamentalmente para o conhecimento deste sistema, particularmente no homem, com quem não se pode fazer experiências. Com efeito, a correlação entre a localização anatômica de uma lesão e o sintoma clínico observado é um dos processos mais utilizados para se estabelecer o significado funcional de uma área do sistema nervoso central. O conhecimento destas *correlações anatomoclínicas* é muito importante para o médico, especialmente para o neurologista interessado em estabelecer a localização precisa de uma lesão, com base nos sintomas e sinais clínicos observados. Emborao assunto seja objeto dos cursos de Neurologia julgamos que algumas noções devem ser dadas durante o curso de Neuroanatomia, pois elas permitem ao aluno entender e, mais racionalmente, memorizar alguas dos aspectos mais relevantes da anatomia e fisiologia do sistema nervoso central. Neste capítulo serão feitas algumas considerações anatomoclínicas sobre a medula e o tronco encefálico, à guisa de um exercício de raciocínio sobre fatos que já foram anteriormente vistos. Exatamente por ser esta a finalidade do estudo, não tivemos a pretensão de ser completos, certos de que o estudo de algumas síndromes neurológicas daria as bases para a compreensão de outras.

2.0 — CONCEITUAÇÃO DE ALGUNS TERMOS

As lesões do sistema nervoso segmentar manifestam-se principalmente por alterações da motricidade e da sensibilidade.

2.1 — ALTERAÇÕES DA MOTRICIDADE

Podem ser da motricidade voluntária, do tônus ou dos reflexos. A diminuição da força muscular denomina-se *paresia*; a ausência total de força impossibilitando o movimento, *paralisia* (ou *plegia*). Quando estes sintomas atingem todo um lado do corpo, temos *hemiparesia* e *hemiplegia*.

Por *tônus* entende-se o estado de relativa tensão em que se encontra permanentemente um músculo normal em repouso. As alterações do tônus podem ser de aumento *(hipertonia)*, diminuição *(hipotonia)* ou ausência completa *(atonia)*.

Nas alterações da motricidade decorrentes de lesões do sistema nervoso pode haver ausência *(arreflexia)*, diminuição *(hiporreflexia)* ou aumento *(hiper-reflexia)* dos reflexos músculo-tendinosos, como, por exemplo, o reflexo patelar. Pode ainda haver o aparecimento de reflexos patológicos. Assim, quando se estimula a pele da região plantar, a resposta reflexa normal consiste na flexão plantar do hálux. Contudo, em casos de lesão dos tractos córtico-espinhais, ocorre a flexão dorsal do hálux *(sinal de Babinski)*.

Paralisias com hiporreflexia e hipotonia são denominadas *paralisias flácidas*. Caracterizam a chamada *síndrome do neurônio motor inferior* ou *periférico*, que resulta de lesão dos neurônios motores da coluna anterior da medula (ou dos núcleos motores dos nervos cranianos). Nestes casos, ocorre também em pouco tempo atrofia da musculatura inervada por perda da ação trófica dos nervos sobre os músculos. Paralisias com hiper-reflexia e hipertonia são denomina-

das *paralisias espásticas.* Ocorrem *na síndrome do neurônio motor superior ou central,* onde a lesão localiza-se nas áreas motoras do córtex cerebral ou nas vias motoras descendentes, em especial no tracto córtico-espinhal. Neste caso, a atrofia muscular é muito discreta, pois os músculos continuam inervados pelos neurônios motores inferiores e o sinal de Babinski é positivo.

2.2 — ALTERAÇÕES DA SENSIBILIDADE

As principais alterações da sensibilidade são:

a) *anestesia* — desaparecimento total de uma ou mais modalidades de sensibilidade após estimulação adequada. O termo emprega-se mais freqüentemente para a perda da sensibilidade tátil, reservando-se o termo analgesia para a perda da seasibilidade dolorosa:
b) *hipoestesia* — diminuição da sensibilidade;
c) *hiperestesia* — aumento da sensibilidade;
d) *parestesias* — aparecimento, sem estimulação, de seasações espontâneas e mal definidas como, por exemplo, o "formigamento";
e) *algias* — dores, em geral.

3.0 — LESÕES DA MEDULA

3.1 — LESÃO DA COLUNA ANTERIOR

Ocorre mais freqüentemente na poliomielite (paralisia infantil), cujo vírus destrói especificamente os neurônios motores da coluna anterior. Neste caso aparece uma síndrome do neurônio motor inferior no território muscular correspondente à área da medula que foi lesada. Podem ocorrer enormes deformidades por ação de grupos musculares cujos antagonistas foram paralisados. Quando a destruição se dá nos neurônios responsáveis pelos movimentos respiratórios, pode haver morte por insuficiência respiratória.

3.2 — TABES DORSALIS

Na *tabes dorsalis,* conseqüência da neurossífilis, ocorre lesão das raízes dorsais, especialmente da divisão medial destas raízes. Como esta divisão contém as fibras que formam os fascículos grácil e cuneiforme, estes são também destruídos. Como conseqüência, temos:

a) *perda da propriocepção consciente* — na prática isto se manifesta por uma perda do sentido de posição e de movimento, ou seja, quando de olhos fechados, o doente é incapaz de saber em que posição está um braço ou uma perna, ou que tipo de movimento foi realizado quando deslocamos uma parte de um de seus membros; assim, será incapaz de dizer se o neurologista fletiu ou estendeu o seu hálux;

b) *perda do tato epicrítico* — em virtude da qual o indivíduo perde a discriminação tátil. Assim, ele é incapaz de saber as características táteis de um objeto que toca, ou seja, se é duro, mole, liso, rugoso etc. Além disto, o doente é incapaz de distinguir dois estímulos táteis aplicados simultaneamente na área lesada com as duas pontas de um compasso (discriminação de dois pontos);

c) *perda da sensibilidade vibratória e da estereognosia* (capítulo 15, item 4.3.2.1). Com o progredir das lesões, pode haver destruições maiores das raízes dorsais com comprometimento de outras formas de sensibilidade e perda de alguns reflexos cujas fibras aferentes foram destruídas.

3.3 — HEMISSECÇÃO DA MEDULA (Fig. 21.1)

A hemissecção da medula produz no homem um conjunto de sintomas conhecido como ***síndrome de Brown-Séquard.*** Os sintomas mais característicos resultam da interrupção dos principais tractos, que percorrem uma metade da medula. Os sintomas resultantes da secção dos tractos que não se cruzam na medula aparecem do mesmo lado da lesão. Já os sintomas resultantes da lesão de tractos que se cruzam na medula manifestam-se no lado oposto ao lesado. Todos os sintomas aparecem somente abaixo do nível da lesão. Assim temos:

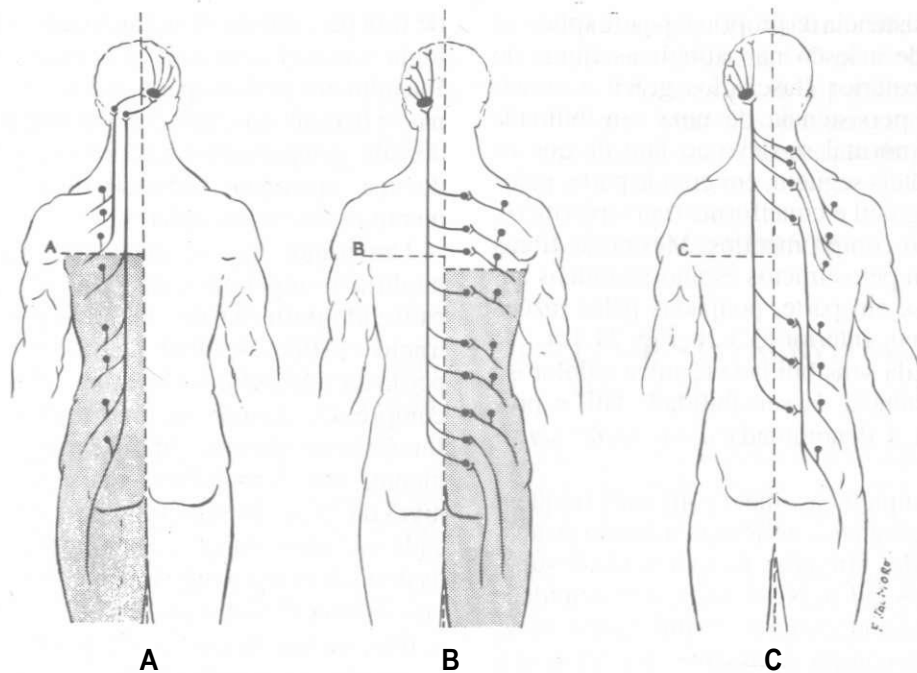



Fig. 21.1 — *Esquema mostrando a conseqüência da interrupção unilateral das principais vias ascendentes da medula, como ocorre na síndrome de Brown-Séquard. As áreas escuras indicam as regiões comprometidas pelas lesões do fascículo grácil (A) ou do tracto espino-talâmico lateral (B). O esquema C mostra por que a lesão do tracto espino-talâmico anterior não causa sintomatologia acentuada (Modificado de Gatz, A.J. — 1988 — Clinical Neuroanatomy and Neurophysiology, Philadelphia, Davis).*

3.3.1 — Sintomas que se Manifestam do Mesmo Lado da Lesão (Tractos não Cruzados na Medula)

a) paralisia espástica com aparecimento do sinal de Babinski, em virtude da interrupção das fibras do tracto córtico-espinhal lateral;

b) perda da propriocepção consciente e do tato epicrítico em virtude da interrupção das fibras dos fascículos grácil e cuneiforme (Fig. 21.1a).

3.3.2 — Sintomas que se Manifestam do Lado Oposto ao Lesado (Tractos Cruzados)

a) perda da sensibilidade térmica e dolorosa a partir de um ou dois dermátomos abaixo do nível da lesão, em conseqüência da interrupção das fibras do tracto espino-talâmico lateral (Fig. 21.1b);

b) ligeira diminuição do tato protopático e da pressão por comprometimento do tracto espino-talâmico anterior. Este comprometimento, em geral, é pequeno porque as fibras da raiz dorsal que levam esta modalidade de sensibilidade dão ramos ascendentes muito grandes, que emitem colaterais em várias alturas antes de fazei sinapse na coluna posterior e cruzar para 0 lado oposto (Fig. 21.1c).

3.4 — SIRINGOMIELIA

Trata-se de uma doença na qual há formação de uma cavidade no canal central da medula, levando a uma destruição da substância cinzenta intermédia central e da comissura branca. Esta destruição interrompe as fibras que formam os dois tractos espino-talâmicos laterais, quando eles cruzam ventralmente ao canal central (Fig. 15.6). Ocorre, assim, uma perda da sensibilidade térmica e dolorosa de ambos os lados, em uma área que corresponde aos dermátomos relacionados com as fibras lesadas. Contudo, nestas áreas não há qualquer perturbação da propriocepção, sendo mínima a deficiência

tátil. A persistência da propriocepção explica-se pelo fato de a lesão não atingir as fibras do funículo posterior (fascículos grácil e cuneiforme). A persistência de uma sensibilidade tátil quase normal se deve ao fato de que os impulsos táteis seguem, cm grande parte, pelos fascículos grácil e cuneiforme (tato epicrítico), que não são comprometidos. Mesmo as fibras que seguem pelos tractos espino-talâmicos anteriores são, em parte, poupadas pelas razões vistas no item anterior (3.3.2b, Fig. 21.1c).

A perda da sensibilidade térmica e dolorosa com persistência da sensibilidade tátil e proprioceptiva é denominada *dissociação sensitiva.*

A siringomielia acomete com mais freqüência a intumescência cervical, resultando no aparecimento dos sintomas na extremidade superior dos dois lados. Neste caso, a extremidade inferior permanece com a sensibilidade normal, pois não há comprometimento das fibras dos tractos espino-talâmicos laterais que trazem a sensibilidade desta área.

3.5 — TRANSECÇÃO DA MEDULA

Imediatamente após um traumatismo que resulte na secção completa da medula, o paciente entra em estado de *choque espinhal.* Esta condição, que nada tem a ver com o choque por perda de sangue ou de líquido, caracteriza-se pela absoluta perda da sensibilidade, dos movimentos e do tônus nos músculos inervados pelos segmentos medulares situados abaixo da lesão. Há ainda retenção de urina e de fezes. Contudo, após um período variável, reaparecem os movimentos reflexos, que se tornam exagerados, e aparece o sinal de Babinski (síndrome do neurônio motor superior). Nos casos de secção completa (e não simples esmagamento), não há recuperação da motricidade voluntária ou da sensibilidade. Pode haver, entretanto, uma certa recuperação reflexa do mecanismo de esvaziamento vesical.

3.6 — COMPRESSÃO DA MEDULA POR TUMOR

Um tumor que se desenvolve no canal vertebral pode, pouco a pouco, comprimir a medula de fora para dentro, resultando uma sintomatologia variável conforme a posição do tumor. Inicialmente podem aparecer dores em determinados dermátomos que correspondem às raízes dorsais comprometidas. Com o progredir da doença, aparecem sintomas de comprometimento de tractos medulares.

Um tumor que se desenvolve dentro da medula comprime-a de dentro para fora, causando perturbações motoras por lesão do tracto córtico-espinhal lateral. Há também perda da sensibilidade térmica e dolorosa por compressão do tracto espino-talâmico lateral. Interessante que este sintoma aparece, inicialmente, nos dermátomos mais próximos ao nível da lesão, progredindo para dermátomos cada vez mais baixos, usualmente poupando os dermátomos sacrais. É o que os neurologistas conhecem como *preservação sacral.* Isto se deve ao fato de que as fibras originadas nos segmentos sacrais da medula se dispõem lateralmente no tracto espino-talâmico lateral, enquanto as originadas em segmentos progressivamente mais altos ocupam posição cada vez mais medial neste tracto. Entende-se, pois. que, quando um tumor comprime a medula de fora para dentro, as fibras originadas nos segmentos sacrais são lesadas em primeiro lugar. Quando o tumor comprime de dentro para fora, estas libras são lesadas por último ou são preservadas.

3.7 — SECÇÃO CIRÚRGICA DOS TRACTOS ESPINO-TALÂMICOS LATERAIS (CORDOTOMIAS)

Em casos dc dor resistente aos medicamentos, resultante principalmente de tumores malignos, pode-se recorrer à *cordotomia.* O processo consiste na secção cirúrgica do tracto espino-talâmico lateral, acima e do lado oposto ao processo doloroso (Fig. 21.1b). Neste caso haverá perda de dor e de temperatura do lado oposto, a partir de um dermátomo abaixo do nível da secção. Em caso dc tratamento dc dores viscerais, é imprescindível a cirurgia bilateral, em vista do grande número de fibras não cruzadas, relacionadas com a transmissão deste tipo de dor.

4.0 — LESÕES DO BULBO (Fig. 21.2)

4.1 — LESÕES DA BASE DO BULBO (HEMIPLEGIA CRUZADA COM LESÃO DO HIPOGLOSSO)

Estas lesões, em geral, comprometem a pirâmide e o nervo hipoglosso (Fig. 21.2). *Lesão da pirâmide* compromete o tracto córtico-espinhal e como este se cruza abaixo do nível da lesão, causa hemiparesia do lado oposto ao lesado. Quando a lesão se estende dorsalmente, atingindo os demais tractos motores descendentes, o quadro é de hemiplegia. *A lesão do hipoglosso* causa paralisia dos músculos da metade da língua situada do lado lesado, com sinais de síndrome de neurônio motor interior, que no caso se manifesta principalmente por hipotrofia destes músculos. Como a musculatura de uma das metades da língua está paralisada, quando o doente faz a protrusão da língua, a musculatura do lado normal desvia a língua para o lado lesado.

4.2 — SÍNDROME DA ARTÉRIA CEREBELAR INFERIOR POSTERIOR (SÍNDROME DE WALLEMBERG)

A artéria cerebelar inferior posterior, ramo da vertebral, irriga a parte dorsolateral do bulbo (Fig. 21.1). Lesões desta região freqüentemente decorrem de trombose da artéria, o que compromete várias estruturas, resultando sintomatologia complexa. A seguir são enumeradas as principais estruturas lesadas com os respectivos sintomas:

a) *lesão do pedúnculo cerebelar inferior* — incoordenação de movimentos na metade do corpo situada do lado lesado;
b) *lesão do tracto espinhal do trigêmeo e seu núcleo* — perda da sensibilidade térmica e dolorosa na metade da face situada do lado da lesão:
c) *lesão do tracto espino-talâmicolateral* — perda da sensibilidade térmica e dolorosa na metade do corpo situada do lado oposto ao da lesão;
d) *lesão do núcleo ambíguo* — perturbações da deglutição e da fonação por paralisia dos músculos da faringe e da laringe.

Pode aparecer uma síndrome de Horner (capítulo 14. item 1.4) por lesão das vias descendentes que do hipotálamo dirigem-se aos neurônios pré-ganglionares relacionados com a inervação da pupila.

5.0 — LESÕES DA PONTE

5.1 — LESÕES DO NERVO FACIAL (Fig. 21.3)

O nervo facial origina-se no núcleo do facial situado na ponte, emerge da parte lateral do sulco bulbo-pontino, próximo, pois. do cerebelo *(ângulo ponto-cerebelar)*. A seguir, penetra no osso temporal pelo meato acústico interno e emerge do crânio pelo forame estilomastóideo, para se distribuir aos músculos mímicos após trajeto dentro da glândula parótida. Lesões do nervo, em qualquer parte deste trajeto, resultam em paralisia total dos músculos da expressão facial na metade lesada. Estes músculos perdem o tônus, tornando-se flácidos e. como isto ocorre com o músculo bucinador, há. freqüentemente, vazamento dc saliva pelo ângulo da boca do lado lesado. Como a musculatura do lado oposto está normal, resulta desvio da comissura labial para o lado normal, particularmente evidente quando o indivíduo sorri. Há também paralisia do músculo *orbicularis oculi*, cuja porção palpebral permite o fechamento da pálpebra. Como o músculo elevador da pálpebra (inervado pelo oculomotor) está normal, a pálpebra permanece aberta, predispondo o olho a lesões c infecções, uma vez que o reflexo corneano está abolido. Entende-se também por que o doente não consegue soprar, assoviar, pestanejar nem enrugar o lado correspondente da testa.

O tipo de paralisia descrito caracteriza lesão do neurônio motor inferior do facial c pode ser denominado *paralisia facial periférica*. Deve ser distinguido das *paralisias faciais centrais* ou *supranucleares* por lesão do neurônio motor superior, como ocorre, por exemplo, nas lesões do tracto córtico-nuclear. As seguintes características distinguem estas paralisias do quadro já visto (Fig. 21.3):

a) as paralisias periféricas são homolaterais, ou seja. ocorrem do mesmo lado da lesão. As paralisias centrais ocorrem do lado

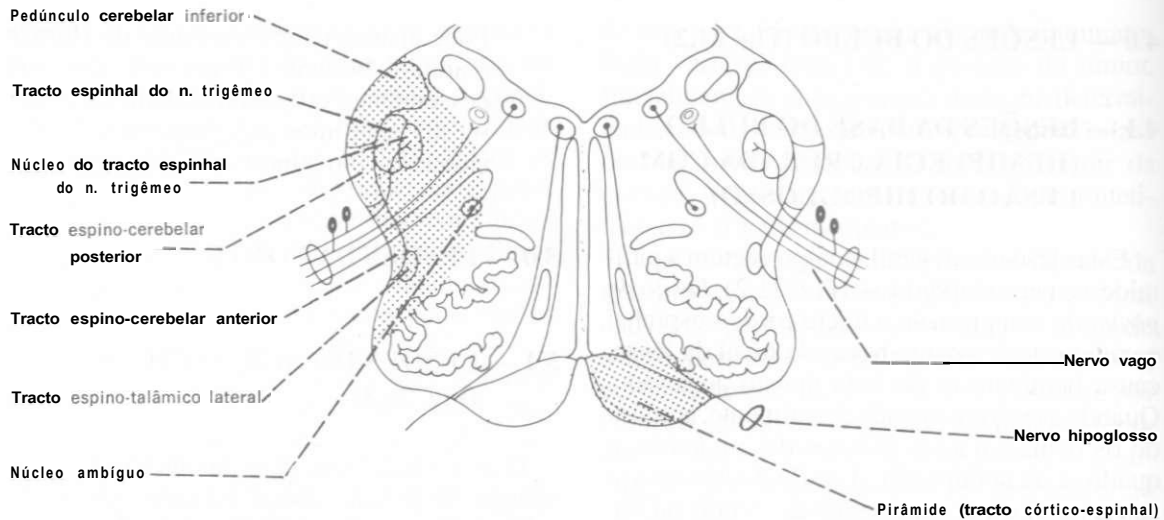



Fig. 21.2 — *Esquema de uma secção transversal de bulbo mostrando: do lado esquerdo, a\ **estruturas** comprometidas na síndrome da artéria cerebelar inferior posterior (síndrome de Wallemberg): do lado direito, uma lesão da base do bulbo comprometendo a pirâmide c a emergência do nervo hipoglosso.*

oposto ao da lesão, ou seja, são contralaterais;

b) as paralisias periféricas acometem toda uma metade da face; as centrais manifestam-se apenas nos músculos da metade inferior da face, poupando os músculos da metade superior como o *orbicularis oculi*. Isto se explica pelo fato dc as libras córtico-nucleares, que vão para os neurônios motores do núcleo do facial que inervam os músculos da metade superior da face, serem homo e heterolaterais, ou seja, terminam no núcleo do seu próprio lado e no do lado oposto. Já as libras que controlam os neurônios motores para a metade inferior da face são todas heterolaterais. Deste modo, quando há uma lesão do tracto córtico-nuclear de um lado. há completa paralisia da musculatura mímica da metade inferior da face do lado oposto, mas na metade superior os movimentos são mantidos pelas libras homolaterais que permanecem intactas (Fig. 21.3);

c) as paralisias periféricas são totais. Nas paralisias centrais, entretanto, pode haver contração involuntária da musculatura mímica como manifestação emocional. Assim, o indivíduo pode contrair a musculatura mímica do lado paralisado quando ri ou chora, embora não possa fazê-lo voluntariamente. Isto se explica pelo fato de que os impulsos que chegam ao núcleo do facial para iniciar movimentos decorrentes dc manifestações emocionais não seguem pelo tracto córtico-nuclear.

Convém assinalar, ainda, que as lesões do nervo facial antes de sua emergência do forame estilomastóideo estão, em geral, associadas a lesões do VIII par e do nervo intermédio. Neste caso. além dos sintomas já vistos, há uma perda da sensibilidade gustativa nos 2/3 anteriores da língua (lesão do intermédio), alterações do equilíbrio, enjôos e tonteiras decorrentes da lesão da parte vestibular do VIII par e diminuição da audição por comprometimento da parte coclear deste nervo.

5.2 — LESÃO DA BASE DA PONTE (SÍNDROME DE MILLARD-GUBLER)

Uma lesão situada na base da ponte, comprometendo o tracto córtico-espinhal c as fibras do nervo abducente (Fig. 21.4), resulta no quadro denominado hemiplegia cruzada, com lesão do abducente. A lesão do tracto córtico-espinhal resulta em hemiparesia do lado oposto ao lesado. A *lesão do nervo abducente* causa paralisia do músculo reto lateral do mesmo lado da lesão, o que impede o movimento do olho em direção lateral (abdução do olho). Como o olho não afetado se move normalmente, os movi-

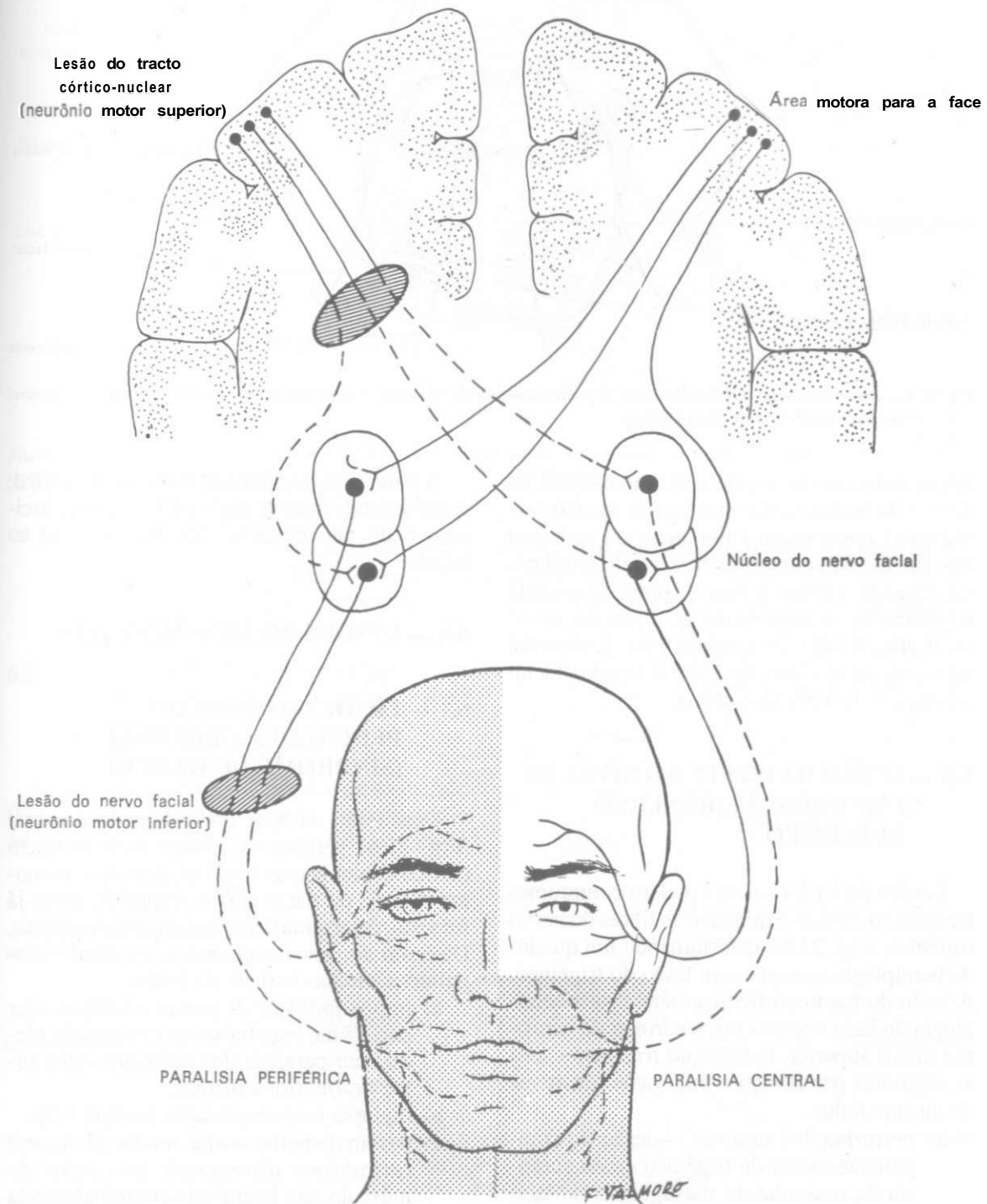



Fig. 21.3 — *Esquema mostrando as diferenças entre as paralisias faciais centrais e periféricas. As áreas pontilhadas indicam os territórios da face onde se verificam paralisias após lesão do tracto córtico-nuclear ou do próprio nervo facial.*

mentos dos dois olhos deixam de ser conjugados. Por isto, os raios luminosos provenientes de um determinado objeto incidem em partes não simétricas da retina dos dois olhos, por exemplo, na mácula do olho normal e em um ponto situado ao lado da mácula, no olho afetado. É por isso que o indivíduo vê duas imagens no objeto, fenômeno denominado *diplopia.*

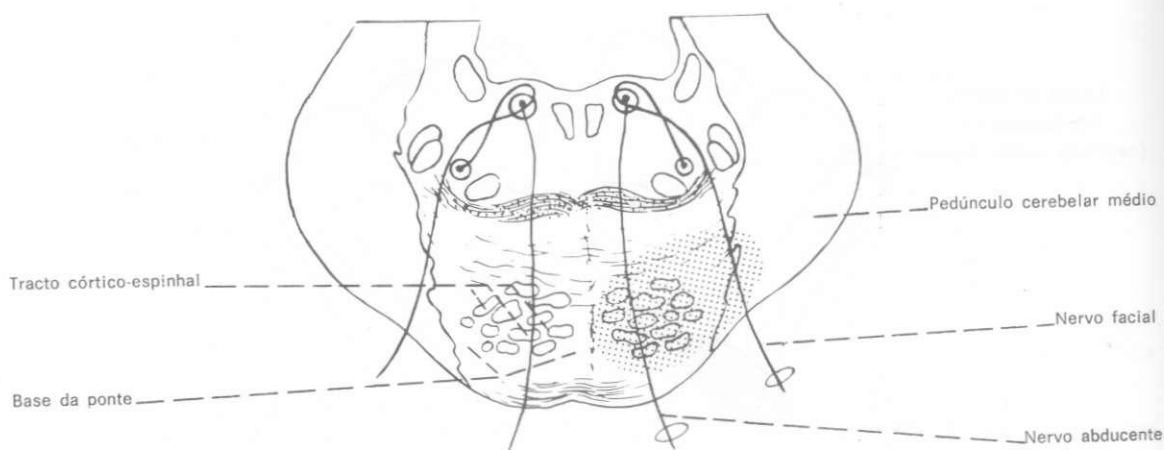



Fig. 21.4 — *Esquema de uma secção transversal de ponte mostrando as estruturas comprometidas em uma lesão de sua base ao nível do colículo facial (síndrome de Millard-Gubler).*

Além disto, nas lesões do nervo abducente, há desvio do bulbo ocular em direção medial *(estrabismo convergente)* por ação do músculo reto medial não contrabalançada pelo reto lateral. Quando a lesão da base da ponte se estende lateralmente, compromete as fibras do nervo facial (Fig. 21.4) e, ao quadro clínico já descrito, acrescentam-se sinais de lesão do nervo facial (síndrome de Millard-Gubler).

5.3 — LESÃO DA PONTE AO NÍVEL DA EMERGÊNCIA DO NERVO TRIGÊMEO

Lesões da base da ponte podem comprometer o tracto córtico-espinhal e as fibras do nervo trigêmeo (Fig. 21.5), determinando um quadro de hemiplegia cruzada com lesão do trigêmeo. A lesão do tracto córtico-espinhal causa hemiplegia do lado oposto com síndrome do neurônio motor superior. A *lesão do trigêmeo* causa as seguintes perturbações motoras e sensitivas do mesmo lado:

a) *perturbações motoras* — lesão do componente motor do trigêmeo causa paralisia da musculatura mastigadora do lado da lesão. Por ação dos músculos pterigóideos do lado normal, há desvio da mandíbula para o lado paralisado;
b) *perturbações sensitivas* — ocorre anestesia da face do mesmo lado da lesão, no território correspondente aos três ramos do trigêmeo.

A lesão se pode estender ao lemnisco medial, determinando a perda da propriocepção consciente e do tato epicrítico do lado oposto ao lesado.

6.0 — LESÕES DO MESENCÉFALO

6.1 — LESÕES DA BASE DO PEDÚNCULO CEREBRAL (SÍNDROME DE WEBER)

Uma lesão da base do pedúnculo cerebral (Fig. 21.6) geralmente compromete o tracto córtico-espinhal e as fibras do nervo oculomotor. A lesão do tracto córtico-espinhal, como já foi visto, determina hemiparesia do lado oposto. Da *lesão do nervo oculomotor* resultam os seguintes sintomas no lado da lesão:

a) impossibilidade de mover o bulbo ocular para cima, para baixo ou em direção medial por paralisia dos músculos retos superior, inferior e medial;
b) diplopia (veja explicação no item 5.2);
c) desvio do bulbo ocular em direção lateral *(estrabismo divergente),* por ação do músculo reto lateral não contrabalançada pelo medial;
d) ptose palpebral (queda da pálpebra), decorrente da paralisia do músculo levantador da pálpebra, o que impossibilita também a abertura voluntária da pálpebra;
e) dilatação da pupila (midríase) por ação do músculo dilatador da pupila (inervado pe-

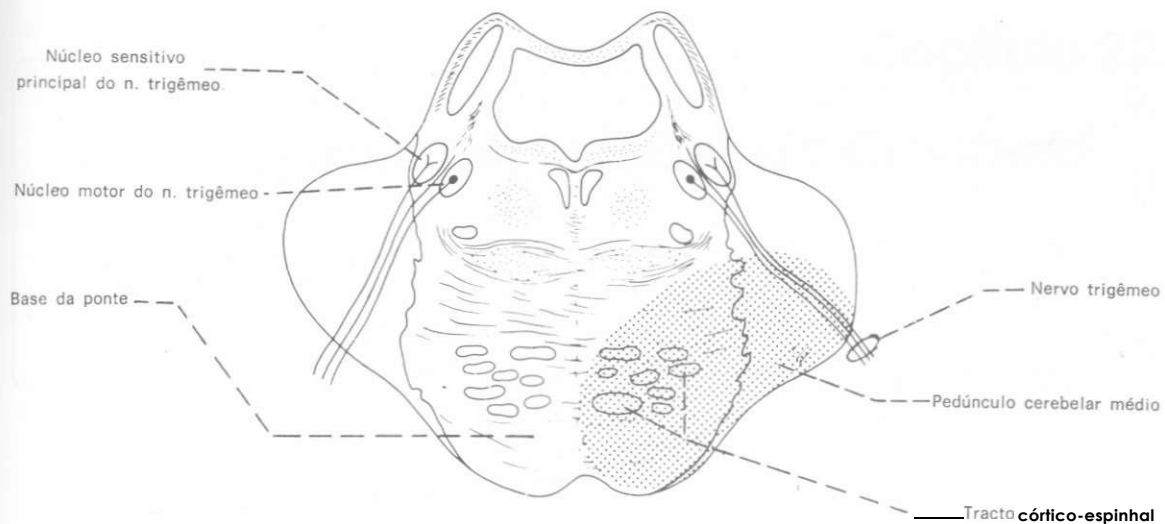



Fig. 21.5 — *Esquema de uma secção transversal de ponte mostrando as estruturas comprometidas em uma lesão de sua base ao nível da origem aparente do nervo trigêmeo.*

lo sistema nervoso simpático), não antagonizada pelo constritor da pupila cuja inervação parassimpática foi lesada.

6.2 — LESÃO DO TEGMENTO DO MESENCÉFALO (SÍNDROME DE BENEDIKT)

Uma lesão no tegmento do mesencéfalo (Fig. 21.6) compromete o nervo oculomotor, o núcleo rubro e os lemniscos medial, espinhal e trigeminal, resultando os sintomas descritos a seguir:

a) *lesão do oculomotor* — já estudada no item anterior;
b) *lesão dos lemniscos medial, espinhal e trigeminal* — anestesia da metade oposta do corpo, inclusive da cabeça, esta última causada por lesão do lemnisco trigeminal;
c) *lesão do núcleo rubro* — tremores e movimentos anormais do lado oposto à lesão.

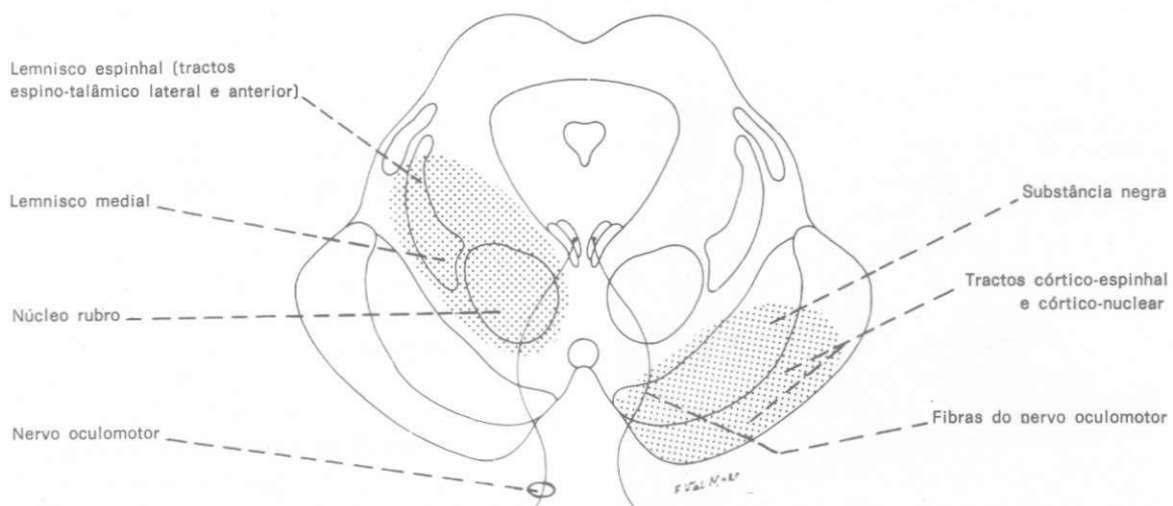



Fig. 21.6 — *Esquema de uma secção transversal de mesencéfalo ao nível dos colículos superiores mostrando as estruturas comprometidas na síndrome de Weber (lado direito) e na síndrome de Benedikt (lado esquerdo).*

Capítulo 22

Estrutura e Funções do Cerebelo

— GENERALIDADES

O cerebelo e o cérebro são os dois órgãos que nstituem o sistema nervoso supra-segmentar. m, pois, uma organização bastante seme- nte e completamente diferente da dos órgãos sistema nervoso segmentar. Assim, tanto o rebelo como o cérebro apresentam um córtex e envolve um centro de substância branca (o ntro medular do cérebro e o corpo medular do rebelo), onde são observadas massas de subs- ncia cinzenta (os núcleos centrais do cerebelo os núcleos da base do cérebro). Entretanto, remos que a estrutura tina do cérebro é muito ais complexa do que a do cerebelo. Do ponto vista fisiológico, o cerebelo difere funda- entalmente do cérebro porque funciona sem- e em nível involuntário e inconsciente, sendo a função exclusivamente motora.

.0 —CITOARQLITETURA DO CÓRTEX CEREBELAR

A citoarquitetura do córtex cerebelar. ao con- ário da cerebral. é basicamente a mesma em)das as folhas e lóbulos. Da superfície para o nterior do órgão, distinguem-se as seguintes amadas (Figs. 22.1, 22.2):

a) camada molecular;
b) camadas de células dc Purkinje;
c) camada granular.

Iniciaremos pelo estudo da camada média, ormada por uma fileira de células dc Purkinje,)s elementos mais importantes do cerebelo. As élulas de Purkinje, piriformes e grandes (Fig. 22.2), são dotadas de dendritos que se ramificam na camada molecular c um axônio que sai em direção oposta (Fig. 22.3), terminando nos núcleos centrais do cerebelo, onde exercem ação inibitória. Esses axônios constituem as únicas fibras eferentes do córtex do cerebelo. A camada molecular é formada principalmente por fibras de direção paralela e contém dois tipos de neurônios, as *células estreladas* e as *células em cesto*. Estas últimas são assim denominadas por apresentarem sinapses axossomáticas dispostas em torno do corpo das células de Purkinje à maneira dc um cesto (Fig. 22.3).

A camada granular é constituída principalmente pelas células granulares ou grânulos do cerebelo, células muito pequenas (as menores do corpo humano), cujo citoplasma é muito

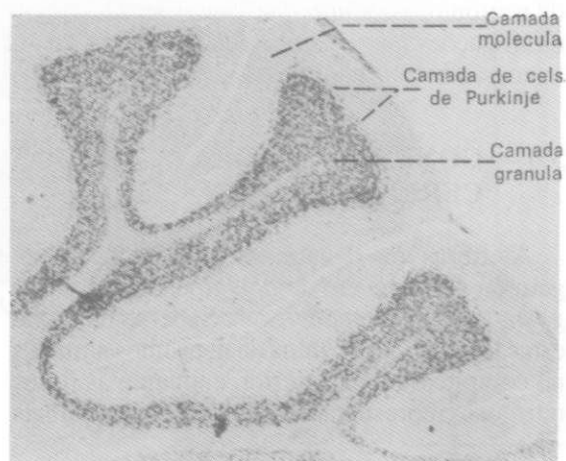



Fig. 22.1 — *Fotomicrografia de um corte histológico de três folhos do cerebelo mostrando as camadas (Tricrômico de (iomon. aumento 4t>x).*

Fig. 22.2 — *Fotomicrografia de um corte histológico de cerebelo mostrando as células de Purkinje (setas). CM = camada molecular: CG = camada granular (Tricrômico de Gomori. aumento 150 x).*

reduzido (Fig. 22.2). Tais células. extremamente numerosas, têm vários dendritos c um axônio que atravessa a camada dc células de Purkinje e. ao atingir a camada molecular. bifurca-se em T (Fig. 22.3). Os ramos resultantes dessa bifurcação constituem as chamadas *fibras paralelas,* que se dispõem paralelamente ao eixo da tolha cerebelar. Essas fibras estabelecem sinapses com os dendritos das células de Purkinje disposta ao longo do eixo da folha cerebelar, lembrando a disposição dos fios nos postes telegráficos (Fig. 22.3). Desse modo, cada célula granular faz sinapse com um grande número de células de Purkinje.

Na camada granular existe ainda um outro tipo de neurônio, as *células de Golgi* (Fig. 22.3), com ramificações muito amplas. Essas células. entretanto. são menos numerosas que as granulares.

3.0 — CONEXÕES INTRÍNSECAS DO CEREBELO (Figs. 22.3, 22.4)

As fibras que penetram no cerebelo se dirigem ao córtex e são de dois tipos: *fibras musgosas* e *fibras trepadeiras**. Sabe-se hoje que estas últimas são axônios dc neurônios situados no complexo olivar inferior, enquanto as libras musgosas representam a terminação dos demais feixes de fibras que penetram no cerebelo. As libras trepadeiras têm esse nome porque terminam enrolando-se em torno dos dendritos das células de Purkinje (Figs. 22.3, 22.4). sobre as quais exercem uma potente ação excitadora. Já as libras musgosas, ao penetrar no cerebelo, emitem ramos colaterais (Fig. 22.4) que fazem sinapses excitadoras com os neurônios dos núcleos centrais. Em seguida, atingem a camada granular, onde se ramificam, terminando em sinapses excitadoras axodendríticas. com um grande número de células granulares. que, através das fibras paralelas, se ligam às células de Purkinje. Constitui-se assim um circuito cerebelar básico (Fig. 22.4) através do qual os impulsos nervosos que penetram no cerebelo pelas libras musgosas ativam sucessivamente os neurônios dos núcleos centrais. as células granulares e as células de Purkinje, as quais, por sua vez, inibem os próprios neurônios dos núcleos centrais. Temos assim a situação em que as informações que chegam ao cerebelo dc vários setores do sistema nervoso agem inicialmente sobre os neurônios dos núcleos centrais de onde saem as respostas eferentes do cerebelo. A atividade desses neurônios. por sua vez, é modulada pela ação inibidora das células dc Purkinje. Na realidade, as conexões intrínsecas do cerebelo são mais complexas, uma vez que o circuito formado pela união das células granulares com as células de Purkinje é modulado pela ação dc três outras células inibidoras: as células dc Golgi. as células em cesto e as células estreladas. Tais células. assim como as células de Purkinje**. agem através da liberação de ácido gama-amino-butírico (GABA). Já a célula granular, única célula excitadora do córtex cerebelar, tem como neurotransmissor o glutamato.

4.0 — NÚCLEOS CENTRAIS E CORPO MEDULAR DO CEREBELO (Fig. 22.5)

São os seguintes os núcleos centrais do cerebelo:

* *Além dessas fibras, conhecidas há bastante tempo, sabe-se hoje que também peneiram no córtex cerebelar fibras noradrenérgicas c serotoninérgicas originadas respectivamente no locus ceruleus e nos núcleos da rafe.*

** *Pesquisas recentes mostram que. apesar dc todas as células dc Purkinje serem inibidoras. nem todas contêm GABA. Outros neurotransmissores também já foram identificados, evidenciando grupos dc células bioquimicamente heterogêneas. Sabe-se também que os grupos dc células de Purkinje de mesmas características bioquímicas sc dispõem em faixas parassagitais que se alternam.*

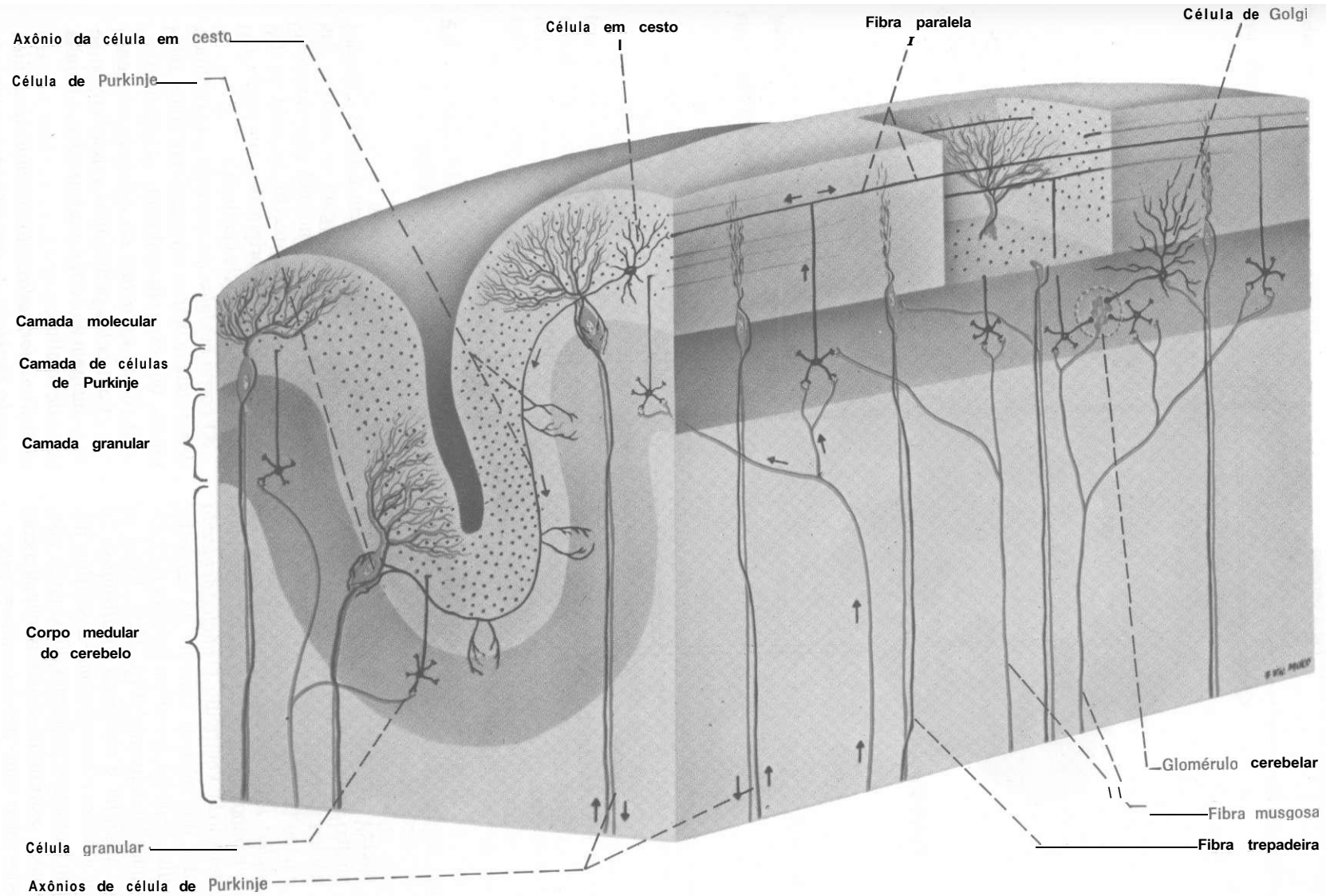



Fig. 22.3 - *Diagrama esquemático de duas folhas do cerebelo mostrando o arranjo das células e das fibras no córtex cerebelar.*

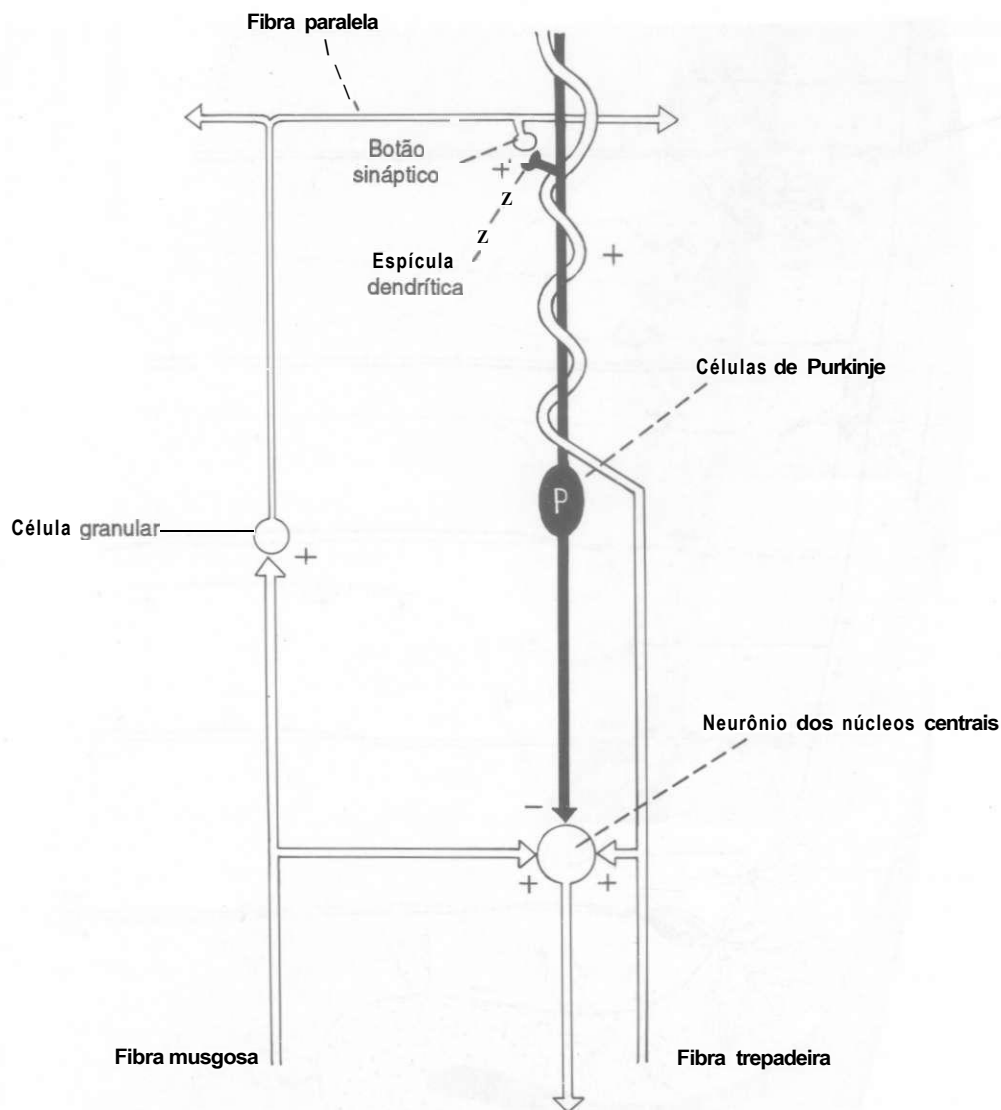



Fig. 22.4 — *Esquema do circuito cerebelar básico.*

a) núcleo denteado;
b) núcleo emboliforme;
c) núcleo globoso;
d) núcleo fastigial.

O *núcleo fastigial* localiza-se próximo ao plano mediano, em relação com o ponto mais alto do teto do IV ventriculo. O *núcleo denteado* é o maior dos núcleos centrais do cerebelo; assemelha-se ao núcleo olivar inferior e localiza-se mais lateralmente (Fig. 22.5). Entre os núcleos fastigial e denteado localizam-se os *núcleos globoso e emboliforme.* Esses dois núcleos são bastante semelhantes do ponto de vista funcional e estrutural, sendo freqüentemente agrupados sob o nome de *núcleo interpósito.*

Dos núcleos centrais saem as fibras eferentes do cerebelo e neles chegam os axônios das células de Purkinje. Como será visto no próximo item, cada núcleo recebe os axônios das células de Purkinje originadas em partes específicas da superfície cerebelar.

O *corpo medular do cerebelo é* constituído de substância branca e formado por fibras mielínicas, que são principalmente as seguintes:

a) *fibras aferentes ao cerebelo* — penetram pelos pedúnculos cerebelares e se dirigem ao córtex, onde perdem a bainha de mielina;
b) *fibras formadas pelos axônios das células de Purkinje* — dirigem-se aos núcleos

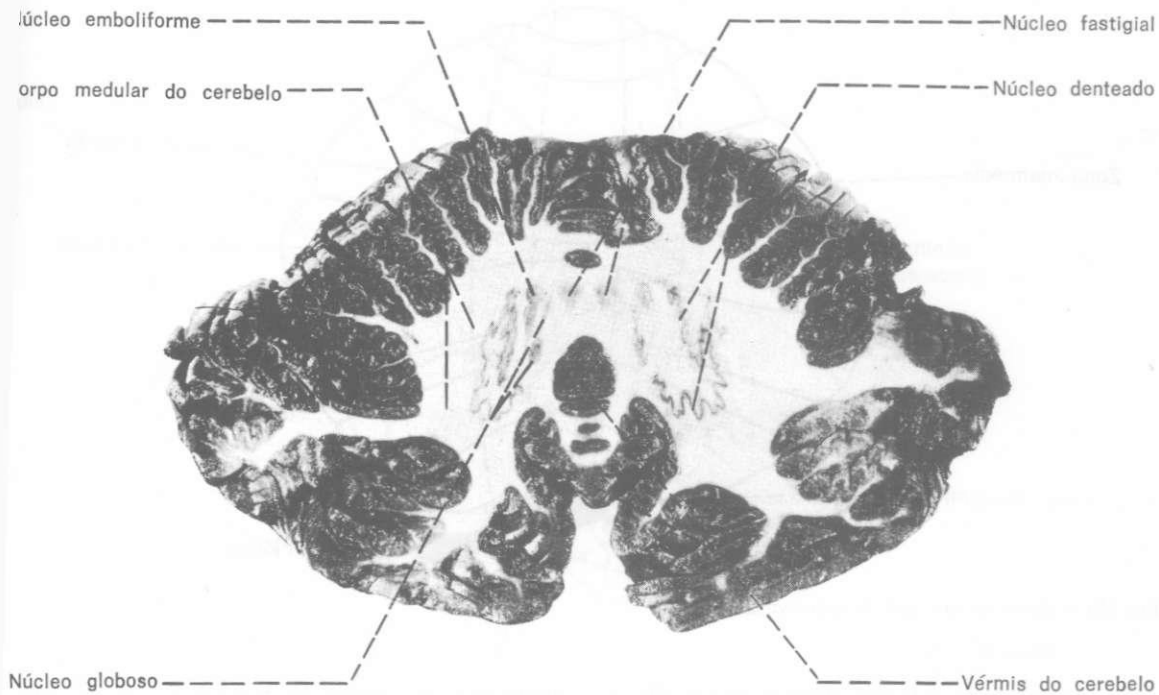



Fig. 22.5 — *Secção horizontal do cerebelo mostrando os núcleos centrais (Método de Barnard, Roberts, Brown).*

centrais e, ao sair do córtex, tornam-se mielínicas.

Ao contrário do que ocorre no cérebro, existem muito poucas fibras de associação no corpo medular do cerebelo. Admite-se que essas fibras são ramos colaterais dos axônios das células de Purkinje.

5.0 — ORGANIZAÇÃO TRANSVERSAL E LONGITUDINAL DO CEREBELO

No capítulo de anatomia macroscópica, já vimos as divisões ontogenética e filogenética do cerebelo. Esta última, baseada nas três etapas da história evolutiva do órgão, permitiu distinguir as seguintes partes: arquicerebelo, correspondendo ao lobo floculomodular; paleocerebelo, ao lobo anterior, à pirâmide e à úvula; e o neocerebelo, que corresponde ao restante dos hemisférios cerebelares (Fig. 22.4). É fácil verificar que essas partes, separadas basicamente pelas fissuras prima e póstero-lateral, se orientam transversalmente e se dispõem no órgão no sentido rostrocaudal. Mais recentemente, com base no estudo das conexões do córtex cerebelar com os núcleos centrais, foi proposta uma nova divisão do cerebelo, em que as partes se orientam longitudinalmente e se dispõem no sentido médio-lateral. Distinguem-se uma *zona medial*, ímpar, correspondendo ao vérmis, e, de cada lado, uma *zona intermédia* paravermiana e uma *zona lateral,* correspondendo à maior parte dos hemisférios (Fig. 22.6). A zona lateral, entretanto, não se separa da zona intermédia por nenhum elemento visível na superfície do cerebelo. Os axônios das células de Purkinje da zona medial projetam-se para o núcleo fastigial, os da zona intermédia para o núcleo interpósito, e os da zona lateral para o núcleo denteado*. A existência dessas duas maneiras de dividir o cerebelo reflete o fato de que esse órgão possui uma organização transversal e outra longitudinal. As fibras trepadeiras que chegam ao cerebelo vindas da oliva tendem a se organizar no sentido longitudinal. A divisão longitudinal tem sido muito usada por ser mais coerente com os recentes achados sobre a fisiologia do cerebelo. Por outro lado, a divisão filogenética continua a ser empregada principalmente como base para a compreensão das síndromes cerebelares. No estudo que se segue sobre as conexões extrín-

* **Esta divisão é válida apenas para o corpo do cerebelo, uma vez que, em sua maioria, os axônios do lobo flóculo-modular se projetam diretamente para os núcleos vestibulares.**

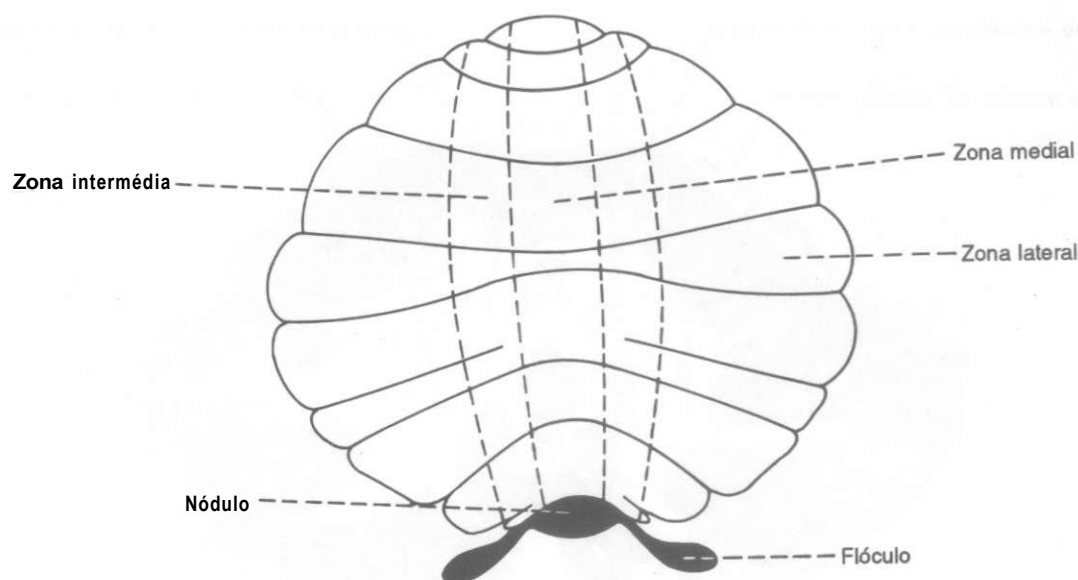



Fig. 22.6 — *Esquema da divisão longitudinal do cerebelo.*

;ecas do cerebelo, é fácil verificar que as fibras aferentes se distribuem dentro dele obedecendo à divisão transversal (filogenética), enquanto as fibras eferentes o deixam obedecendo rigorosamente à divisão longitudinal*.

6.0 — CONEXÕES EXTRÍNSECAS

Chegam ao cerebelo do homem alguns milhões de fibras nervosas trazendo informações dos mais diversos setores do sistema nervoso, as quais são processadas pelo órgão, cuja resposta, veiculada através de um complexo sistema de vias eferentes, vai influenciar os neurônios motores. Um princípio geral é que, ao contrário do cérebro, o cerebelo influencia os neurônios motores de seu próprio lado. Para isso, tanto suas vias aferentes como eferentes, quando não são homolaterais, sofrem um duplo cruzamento, ou seja, vão para o lado oposto e voltam para o mesmo lado. Esse fato tem importância clínica, pois a lesão de um hemisfério cerebelar dá sintomatologia do mesmo lado, enquanto no hemisfério cerebral a sintomatologia é do lado oposto. O estudo da origem, trajeto e destino das libras aferentes e eferentes do cerebelo, que será feito a seguir, é muito importante para a compreensão da fisiologia e patologia desse órgão. Entretanto, diante da complexidade das conexões cerebelares, serão deliberadamente omitidas aquelas cujo significado funcional é desconhecido ou pouco relevante.

* *Por essa razão, é mais difícil estudar as conexões do cerebelo tomando como ponto de partida apenas a divisão filogenética, como fizemos na primeira edição deste livro.*

6.1 — CONEXÕES AFERENTES

Como já foi visto, as fibras aferentes do cerebelo terminam no córtex como fibras trepadeiras ou musgosas. As primeiras originam-se no complexo olivar inferior e distribuem-se a todo o cerebelo. Já as segundas distribuem-se a áreas específicas do cerebelo e originam-se fundamentalmente de três regiões: os núcleos vestibulares, a medula espinhal e os núcleos pontinos.

6.1.1 — Fibras Aferentes de Origem Vestibular

Essas libras chegam ao cerebelo pelo ***fascículo vestíbulo-cerebelar*** cujas fibras têm origem nos núcleos vestibulares e se distribuem principalmente ao arquicerebelo (Fig. 17.1) e em parte também à zona medial (vérmis). Trazem informações — originadas na parte vestibular do ouvido interno — sobre a posição da cabeça, importantes para a manutenção do equilíbrio e da postura básica.

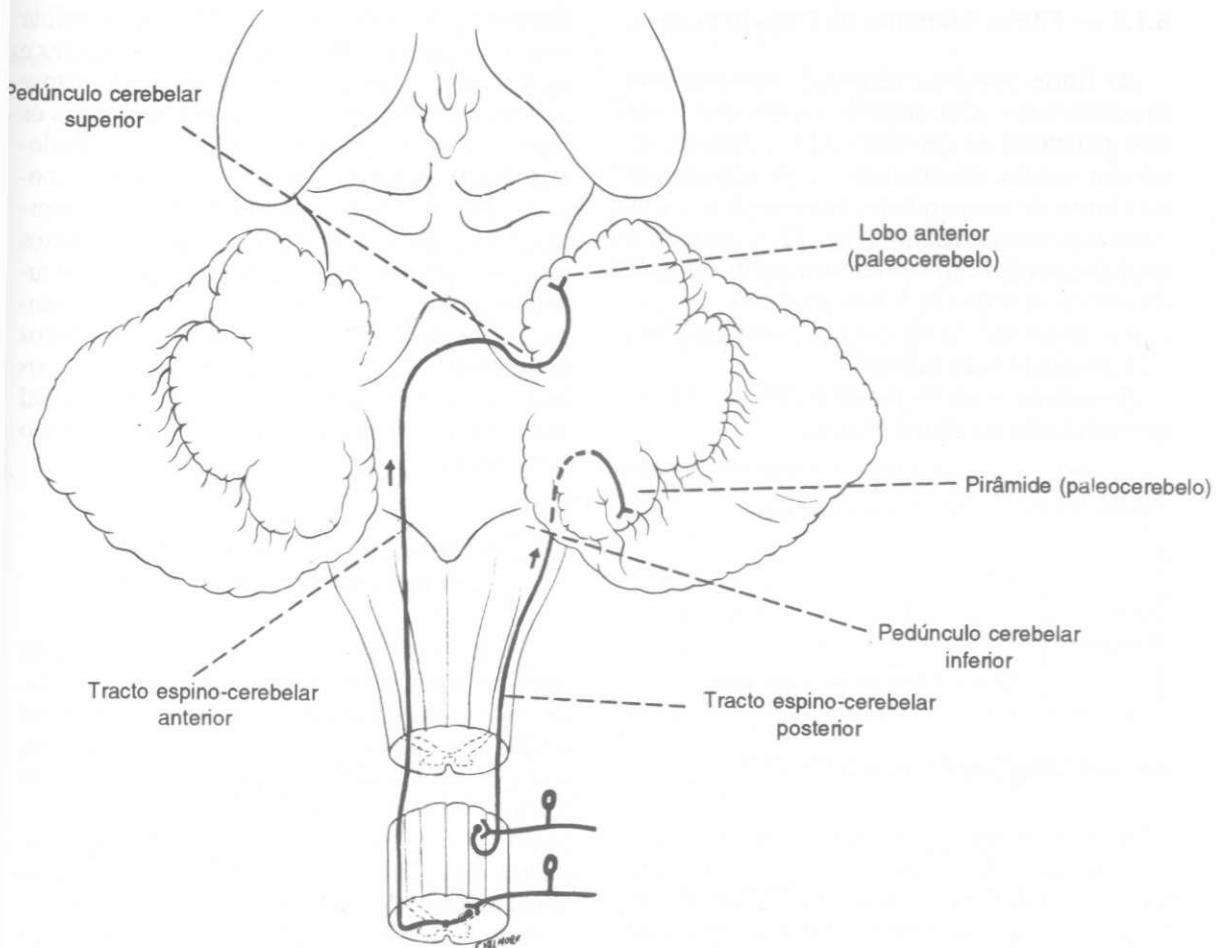



Fig. 22.7 — *Trajeto dos tractos espino-cerebelares.*

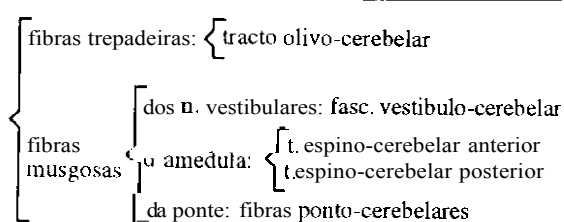
6.1.2 — Fibras Aferentes de Origem Medular

Essas fibras são representadas principalmente pelos tractos *espino-cerebelar anterior* e *espino-cerebelar posterior* (Fig. 22.7)*, que penetram no cerebelo respectivamente pelos pedúnculos cerebelares superior e inferior e terminam no córtex do paleocerebelo. Através do tracto espino-cerebelar posterior, o cerebelo recebe sinais sensoriais originados em receptores proprioceptivos e, em menor grau, de outros receptores somáticos, o que lhe permite avaliar o grau de contração dos músculos, a tensão nas cápsulas articulares e tendões, assim como as posições e velocidades do movimento das partes do corpo. Já as fibras do tracto espino-cerebelar anterior são ativadas principalmente pelos sinais motores que chegam à medula pelo tracto córtico-espinhal, permitindo ao cerebelo avaliar o grau de atividade nesse tracto. Estimulando-se receptores cutâneos cm diferentes partes do corpo pôde-se tomar potenciais evocados em áreas específicas do paleocerebclo. Foi possível assim fazer o mapa sensorial do cerebelo, evidenciando-se uma representação do corpo no lobo anterior e duas outras no lobo posterior. Convém lembrar, entretanto, que essas áreas sensoriais do cerebelo são diferentes das que existem no córtex cerebral, pois os impulsos que aí chegam não se tornam conscientes.

* *Há também os tractos espino-cerebelar rostral e cuneocerebelar, que se unem respectivamente aos tractos espino-cerebelar anterior e posterior.*

6.1.3 — Fibras Aferentes de Origem Pontina

As fibras *pontinas*, também chamadas *ponto-cerebelares*, têm origem nos núcleos pontinos, penetram no cerebelo pelo pedúnculo cerebelar médio, distribuindo-se principalmente ao córtex do neocerebelo. Fazem parte da via *cortico-ponto-cerebelar* (Fig. 22.9) através da qual chegam ao cerebelo informações oriundas do córtex de todos os lobos cerebrais. O significado funcional da via cortico-ponto-cerebelar será estudado mais adiante.

As conexões aferentes do cerebelo estão esquematizadas na chave abaixo.

6.2 — CONEXÕES EFERENTES

Através de suas conexões eferentes, o cerebelo exerce influência sobre os neurônios motores da medula. Entretanto, ele não age diretamente sobre esses neurônios* mas sempre através de relés intermediários, situados em áreas do tronco encefálico, do tálamo ou das próprias áreas motoras do córtex cerebral. Assim, para compreensão das funções do cerebelo, é necessário estudar suas vias eferentes em sua totalidade, ou seja, incluindo todo o trajeto até os neurônios motores. Convém lembrar também que as fibras eferentes do cerebelo saem dos três núcleos centrais, os quais, por sua vez, recebem os axônios das células de Purkinje de cada uma das três zonas longitudinais do corpo do cerebelo. A seguir, estudaremos separadamente as conexões eferentes de cada uma dessas zonas.

6.2.1 — Conexões Eferentes da Zona Medial (Fig. 17.1)

Os axônios das células de Purkinje da zona medial (vérmis) fazem sinapse nos núcleos fastigiais**, de onde sai o tracto fastigiobulbar com dois tipos de fibras: *fastígio-vestibulares* e *fastígio-reticulares*. As primeiras fazem sinapse nos núcleos vestibulares, a partir dos quais os impulsos nervosos, através do tracto vestíbulo-espinhal, se projetam sobre os neurônios motores (Fig. 17.1); as segundas terminam na formação reticular, a partir da qual os impulsos atingem, pelo tracto retículo-espinhal, os neurônios motores. Em ambos os casos, a influência do cerebelo se exerce sobre os neurônios motores do grupo medial da coluna anterior, os quais controlam a musculatura axial e proximal dos membros, no sentido de manter o equilíbrio e a postura.

6.2.2 — Conexões Eferentes da Zona Intermédia (Fig. 22.8)

Os axônios das células de Purkinje da zona intermédia fazem sinapse no núcleo interpósito, de onde saem fibras para o núcleo rubro e para o tálamo do lado oposto. Através das primeiras, o cerebelo influencia os neurônios motores pelo tracto rubro-espinhal, constituindo-se a *via interpósito-rubro-espinhal* (Fig. 22.8). Já os impulsos que vão para o tálamo seguem para as áreas motoras do córtex cerebral *(via interpósito-tálamo-cortical)*, onde se origina o tracto córtico-espinhal (Fig. 22.8). Assim, através desse tracto, o cerebelo exerce sua influência sobre os neurônios motores. A ação do núcleo interpósito se faz sobre os neurônios motores do grupo lateral da coluna anterior, que controlam os músculos distais dos membros responsáveis por movimentos delicados. Acredita-se que no homem, cujo tracto rubro-espinhal é muito pouco desenvolvido, tal ação se faça principalmente pelo tracto córtico-espinhal.

6.2.3 — Conexões Eferentes da Zona Lateral (Fig. 22.9)

Os axônios das células de Purkinje da zona lateral do cerebelo fazem sinapse no núcleo

* *Constituem exceção a essa regra algumas conexões do cerebelo com neurônios motores do núcleo do óculo-motor.*

** *Os axônios do nódulo não se ajustam exatamente a essa regra, uma vez que, juntamente com os originados em todo o lobo flóculo-nodular, terminam em grande parte diretamente nos núcleos vestibulares.*

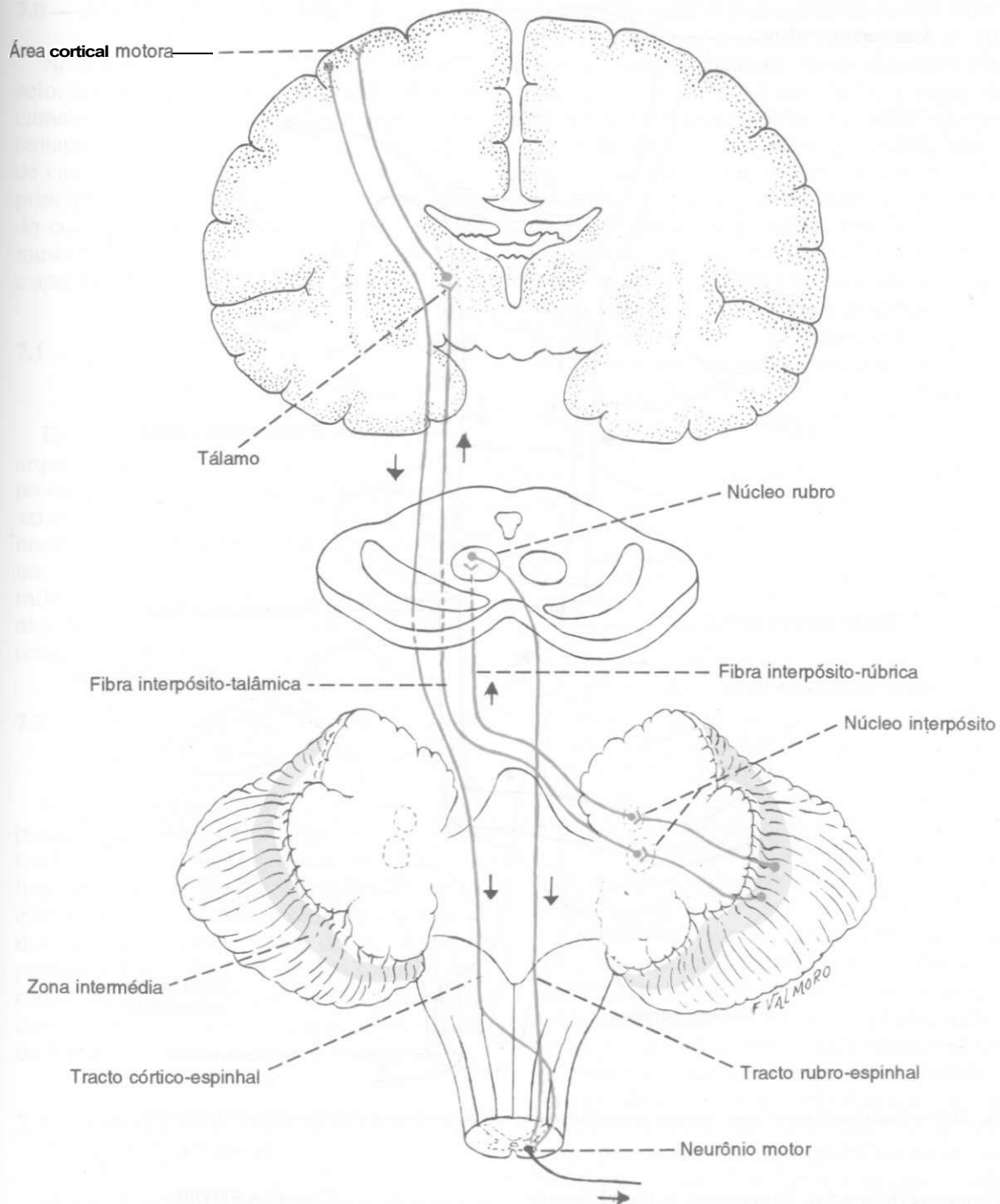



Fig. 22.8 — *Conexões eferentes da zona intermédia do cerebelo.*

denteado, de onde os impulsos seguem para o tálamo* do lado oposto e daí para as áreas motoras do córtex cerebral *(via dento-tálamo-cortical)*, onde se origina o tracto córtico-espinhal (Fig. 22.9). Através desse tracto, o núcleo denteado participa da atividade motora, agindo sobre a musculatura distal, responsável por mo-

* ***No seu trajeto do núcleo denteado para o tálamo, as fibras atravessam o núcleo rubro. Durante muito tempo pensou-se que esse núcleo funcionaria como um relé dessa via. Entretanto, não se provou a existência de conexões rubro-talâmicas.***

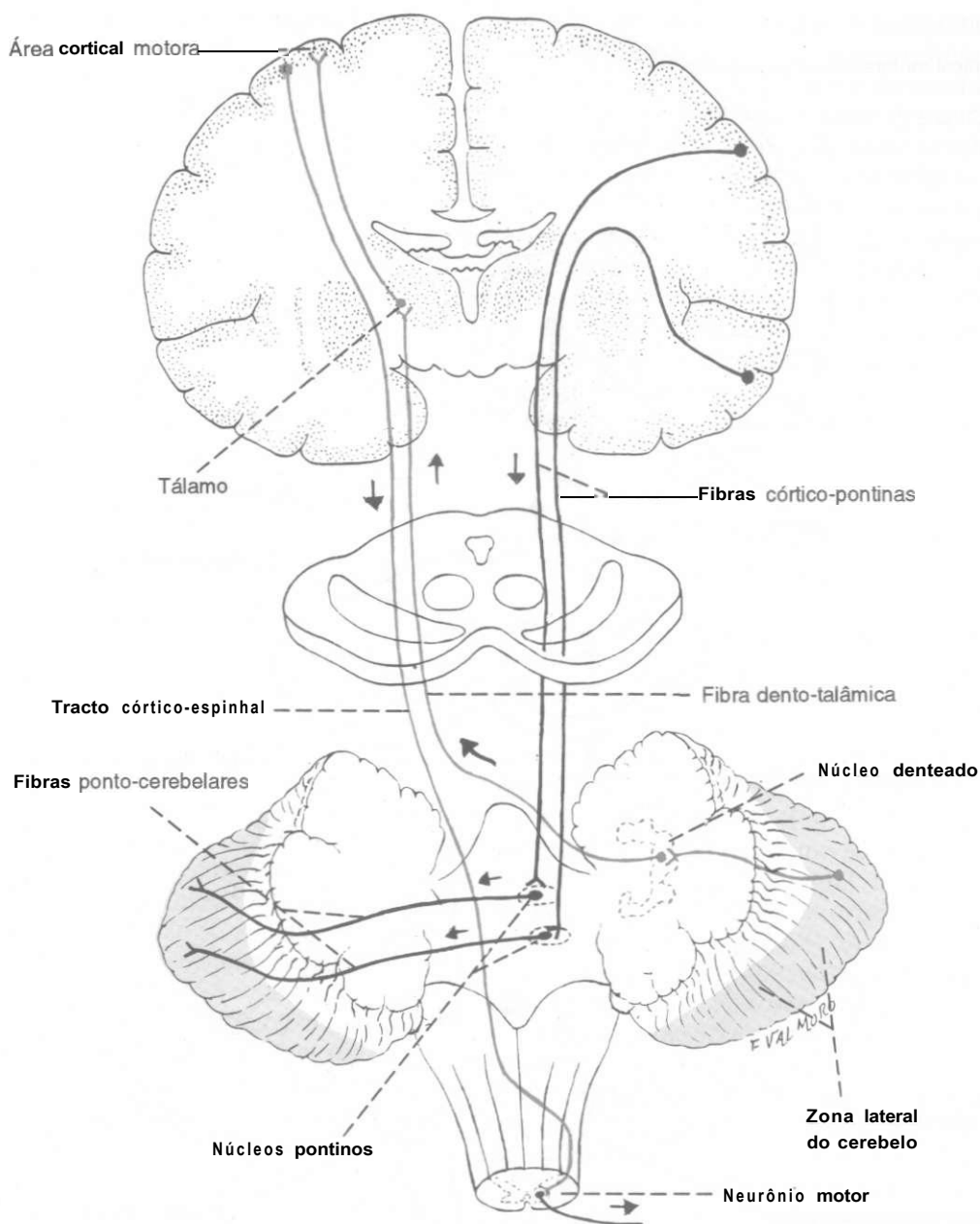



Fig. 22.9 — *Conexões eferentes (em vermelho) da zona lateral do cerebelo e via córtico-ponto-cerebelar (em preto).*

vimentos delicados. Entretanto, o papel do núcleo denteado na organização da atividade motora voluntária é diferente do exercido pelo núcleo interpósito, como será visto no próximo item.

As conexões eferentes do cerebelo são sintetizadas na chave seguinte:

Conexões eferentes	
zona medial	fibras fastígio-vestibulares — tracto vestíbulo-espinhal fibras fastígio-reticulares — tracto retículo-espinhal
zona intermédia	interpósito-rubro-espinhal via interpósito-tálamo-cortical
zona lateral	via dento-tálamo-cortical

'.0 — ASPECTOS FUNCIONAIS

No estudo das conexões extrínsecas do cere- >elo, foram feitas algumas considerações fun- :ionais que serão agora aprofundadas e sis- ematizadas, na tentativa de esclarecer a função le cada uma das subdivisões desse órgão. As)rincipais funções do cerebelo são: manutenção Jo equilíbrio e da postura, controle do tônus muscular, controle dos movimentos voluntários ɜ aprendizagem motora.

7.1 — MANUTENÇÃO DO EQUILÍBRIO E DA POSTURA

Essas funções se fazem basicamente pelo arquicerebelo e pela zona medial (vérmis), que promovem a contração adequada dos músculos axiais e proximais dos membros, de modo a manter o equilíbrio e a postura normal, mesmo nas condições em que o corpo se desloca. A influência do cerebelo é transmitida aos neurônios motores pelos tractos vestíbulo-espinhal e retículo-espinhal.

7.2 — CONTROLE DO TÔNUS MUSCULAR

Um dos sintomas da decerebelização é a perda do tônus muscular, que pode ser obtida também por lesão dos núcleos centrais. Sabe-se hoje que tais núcleos — em especial o denteado e interpósito — mantêm, mesmo na ausência de movimento, um certo nível de atividade espontânea. Essa atividade, agindo sobre os neurônios motores via tractos córtico-espinhal e rubro-espinhal, é importante para a manutenção do tônus.

7.3 — CONTROLE DOS MOVIMENTOS VOLUNTÁRIOS

O papel do cerebelo no controle dos movimentos voluntários já é conhecido há muito tempo graças à observação de casos clínicos em que ele é lesado. Lesões do cerebelo têm como sintomatologia uma grave ataxia, ou seja, falta de coordenação dos movimentos voluntários decorrentes de erros na força, extensão e direção do movimento. O mecanismo através do qual o cerebelo controla o movimento envolve duas etapas: uma de *planejamento do movimento* e outra de *correção do movimento* já em execução. O planejamento do movimento é elaborado na zona lateral do órgão, a partir de informações trazidas, pela via córtico-ponto-cerebelar, de áreas do córtex cerebral ligadas a funções psíquicas superiores (áreas de associação) e que expressam a 'intenção' do movimento. O 'plano' motor é então enviado às áreas motoras do córtex cerebral pela via *dento-tálamo-cortical* (Fig. 22.9) e colocado em execução através da ativação dos neurônios apropriados dessas áreas, os quais, por sua vez, ativam os neurônios motores medulares através do tracto córtico-espinhal. Uma vez iniciado, o movimento passa a ser controlado pela zona intermédia do cerebelo. Esta, através dc suas inúmeras aferências sensoriais, especialmente as que chegam pelos tractos espino-cerebelares, é informada das características do movimento em execução e, através da via *interpósito-tálamo-cortical*, promove as correções devidas, agindo sobre as áreas motoras e o tracto córtico-espinhal. Admite-se que para isso a zona intermédia do cerebelo compara as características do movimento em execução com o plano motor, promovendo as correções e ajustamentos necessários para que o movimento se faça de maneira adequada. Assim, o papel da zona intermédia é diferente do da zona lateral, o que pode ser correlacionado com o fato de que a zona intermédia recebe aferências espinhais e corticais, enquanto a zona lateral recebe apenas estas últimas.

Corroborando ainda o papel diferente exercido pela zona intermédia e pela zona lateral na organização do movimento, temos o fato dc que o núcleo denteado — ligado ao planejamento motor — é ativado antes do início do movimento, enquanto o núcleo interpósito — ligado à correção do movimento — só é ativado depois que este se inicia. Fato interessante é que cm certos movimentos muito rápidos (movimentos balísticos), como o de bater à máquina, atua apenas a zona lateral, pois não há tempo dc a zona intermédia receber informações sensoriais que lhe permitam corrigir o movimento.

7.4 — APRENDIZAGEM MOTORA

É fato conhecido que, quando executamos uma mesma atividade motora várias vezes, ela

passa a ser feita de maneira cada vez mais rápida e com menos erros, como apertar parafusos em uma esteira rolante, a exemplo da famosa cena do filme *Tempos modernos,* de. Charles Chaplin. Isso significa que o sistema nervoso aprende a executar as tarefas motoras repetitivas, o que provavelmente envolve modificações mais ou menos estáveis em circuitos nervosos. Admite-se que o cerebelo participa desse processo através das fibras olivo-cerebelares, que chegam ao córtex cerebelar como fibras trepadeiras e fazem sinapses diretamente com as células de Purkinje. Há evidência de que essas fibras podem modular a excitabilidade das células de Purkinje, em resposta aos impulsos que elas recebem do sistema de fibras musgosas e paralelas. Tal ação parece ser muito importante para a aprendizagem motora. Entretanto, o assunto ainda é bastante controvertido*.

8.0 — CORRELAÇÕES ANATOMOCLÍNICAS

O estudo dos principais sintomas que ocorrem quando o cerebelo é lesado é importante não só por seu valor clínico, mas também porque permite entender melhor o funcionamento do cerebelo normal. Esses sintomas podem ser agrupados em três categorias:

a) incoordenação dos movimentos, também chamada de ataxia. Ela se manifesta principalmente nos membros, sendo característica a chamada marcha atáxica** do doente do cerebelo, na qual há também perda do equilíbrio. A incoordenação motora pode manifestar-se ainda na articulação das palavras, levando o doente a falar com a voz arrastada;
b) perda do equilíbrio. Diante da dificuldade para se manter em posição ereta, o doente tende a abrir as pernas para ampliar sua base dc sustentação;
c) diminuição do tônus da musculatura esquelética (hipotonia), que freqüentemente ocorre em lesões do cerebelo.

Freqüentemente há um envolvimento global do cerebelo resultando no aparecimento dc todos esses sintomas. Nesse caso, a aparência do paciente muito se assemelha àquela observada em indivíduos durante a embriaguez aguda, à exceção do quadro psíquico, que é normal. Esse fato não é uma simples coincidência, mas resulta do efeito tóxico que o álcool exerce sobre as células de Purkinje. Pode ocorrer também que determinadas patologias do cerebelo, dentre as quais as mais comuns são os tumores, lesem áreas isoladas do órgão, produzindo um conjunto de sintomas que permite definir síndromes específicas, que serão estudadas a seguir.

8.1 — SÍNDROMES CEREBELARES

É usual a distinção de três síndromes principais, de acordo com a divisão filogenética do cerebelo: síndromes do arqui, do paleo e do neocerebelo.

8.1.1 — Síndrome do Arquicerebelo

Ocorre com uma certa freqüência em crianças de menos de 10 anos e, em geral, é devida a tumores do teto do IV ventriculo, que comprimem o nódulo e o pedúnculo do flóculo. Nesse caso há somente perda de equilíbrio, e as crianças não conseguem se manter em pé. Não há, entretanto, nenhuma alteração do tônus muscular e, quando elas se mantêm deitadas, a coordenação dos movimentos é praticamente normal.

8.1.2 — Síndrome do Paleocerebelo

Ocorre no homem como conseqüência da degeneração do córtex do lobo anterior no alcoolismo crônico. Manifesta-se por perda do equilíbrio, o que leva o paciente a andar com a base alargada, e ataxia dos membros inferiores.

8.1.3 — Síndrome do Neocerebelo

As lesões do neocerebelo causam como sintoma fundamental uma incoordenação motora (ataxia), que pode ser testada por vários sinais, alguns dos quais vão descritos a seguir:

a) *dismetria* — consiste na execução defeituosa de movimentos que visam atingir

---

* *Para uma discussão mais aprofutulada, veja Piergiorgio, S. — 1989 — The olivocerebellar system in motor control (Experimental Brain Research Scries, 17), Springer, 466 pp.*

** *É uma marcha instável, semelhante à dc um ébrio, na qual o paciente tende a andar com as pernas abertas para ampliar sua base dc sustentação.*

um alvo, pois o indivíduo não consegue dosar exatamente a 'quantidade' de movimentos necessária para isso. Pode-se testar esse sinal pedindo ao paciente para colocar o dedo na ponta do nariz e verificando se ele é capaz de executar a *ordem*;

b) *decomposição* — movimentos complexos que normalmente são feitos simultaneamente por várias articulações. São decompostos, ou seja, realizados em etapas sucessivas por cada uma das articulações;

c) *disdiadococinesia* — é a dificuldade de fazer movimentos rápidos e alternados como, por exemplo, tocar rapidamente a ponta do polegar com os dedos indicador e médio, alternadamente;

d) *rechaço* — verifica-se esse sinal mandando o paciente forçar a flexão do antebraço contra uma resistência que se faz no pulso. No indivíduo normal, quando se retira essa resistência, a flexão pára por imediata ação dos músculos extensores. coordenada pelo cerebelo. Entretanto, no doente neocerebelar, essa coordenação não existe, os músculos extensores custam a agir e o movimento é muito violento, levando quase sempre o paciente a dar um tapa no próprio rosto;

e) *tremor* — trata-se de um tremor característico, que se acentua ao final do movimento ou quando o paciente está prestes a atingir um objetivo, como, por exemplo, apanhar um objeto (tremor intencional);

0 *nistagmo* — movimento oscilatório rítmico dos bulbos oculares (veja Cap. 19, item 2.2.5), que ocorre especialmente em lesões do sistema vestibular e do cerebelo.

8.2 — ALGUMAS CONSIDERAÇÕES SOBRE AS LESÕES CEREBELARES

Do ponto de vista puramente clínico e tendo em vista principalmente a localização de tumores cerebelares, os neurologistas costumam distinguir dois quadros patológicos do cerebelo: *lesões do vérmis* e *lesões dos hemisférios.* As lesões hemisféricas manifestam-se nos membros do lado lesado e dão sintomatologia neocerebelar relacionada, pois, à coordenação dos movimentos. Já a lesão do vérmis manifesta-se principalmente por perda do equilíbrio com alargamento da base dc sustentação e alterações na marcha (marcha atáxica).

O cerebelo tem uma notável capacidade de recuperação funcional quando há lesões de seu córtex, particularmente em crianças ou quando as lesões aparecem gradualmente. Para isso. concorre o fato dc o seu córtex ter uma estrutura uniforme, permitindo que as áreas intactas assumam pouco a pouco as funções das áreas lesadas. Entretanto, a recuperação não ocorre quando as lesões atingem os núcleos centrais.

Capítulo 23

Estrutura e Funções do Hipotálamo

O hipotálamo é parte do diencéfalo e se dispõe nas paredes do III ventriculo, abaixo do sulco hipotalâmico, que o separa do tálamo (Fig. 24.1). Apresenta também algumas formações anatômicas visíveis na face inferior do cérebro: o quiasma óptico, o túber cinéreo, o infundíbulo e os corpos mamilares (Figs. 8.6 e 24.1). Trata-se dc uma área muito pequena, pois tem apenas 4g em um cérebro de 1.200 gramas. Apesar disto, o hipotálamo, por suas inúmeras e variadas funções, é uma das áreas mais importantes do sistema nervoso, sobre o qual existe vastíssima literatura.

1.0 — DIVISÕES E NÚCLEOS DO HIPOTÁLAMO (Fig. 23.1)

O hipotálamo é constituído fundamentalmente de substância cinzenta que se agrupa em núcleos, às vezes de difícil individualização. Percorrendo o hipotálamo existem, ainda, sistemas variados de libras, alguns muito conspícuos, como o fórnix. Este percorre de cima para baixo cada metade do hipotálamo, terminando no respectivo corpo mamilar. O fórnix permite dividir o hipotálamo em uma área medial e outra lateral (Fig. 23.1). *Aárea mediai* do hipotálamo, situada entre o fórnix e as paredes do III ventrículo, é rica em substância cinzenta e nela se localizam os principais núcleos do hipotálamo. Na *área lateral,* situada lateralmente ao fórnix. há predominância dc libras de direção longitudinal. A área lateral do hipotálamo é percorrida pelo *feixe prose ncefálicomedial.* complexo sistema dc libras que estabelecem conexões nos dois sentidos entre a área septal, pertencente ao sistema límbico, e a formação reticular do mesencéfalo. Muitas dessas libras terminam no hipotálamo.

O hipotálamo pode ainda ser dividido por três planos frontais em hipotálamo supra-óptico, tuberal e mamilar. O *hipotálamo supra-óptico* compreende o quiasma óptico e toda a área situada acima dele nas paredes do III ventrículo até o sulco hipotalâmico. O *hipotálamo tuberal* compreende o túber cinéreo (ao qual se liga o infundíbulo) e toda a área situada acima dele, nas paredes do III ventriculo até o sulco hipotalâmico. O *hipotálamo mamilar* compreende os corpos mamilares com seus núcleos e as áreas das paredes do III ventriculo, que se encontram acima deles até o sulco hipotalâmico.

Os principais núcleos do hipotálamo (Fig. 23.1) referidos a uma das três divisões então descritas são relacionados na chave da página seguinte*.

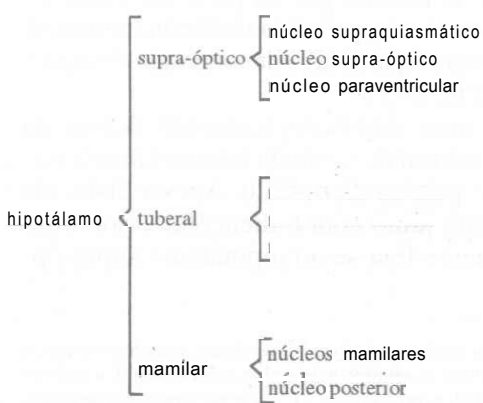
Convém lembrar que na parte mais anterior do III ventriculo, próximo da lâmina terminal, existe uma pequena área denominada *área pré-óptica* (Fig. 23.1).

Esta área embriologicamente deriva da porção central da vesícula telencefálica e não pertence pois ao diencéfalo. Apesar disto, ela é estudada junto com o diencéfalo, pois funcionalmente liga-se ao hipotálamo supra-óptico.

---

* *Além dos núcleos relacionados na chave, descrevem-se ainda os seguintes:* n. anterior, n. lateral, n. tuberal lateral, n. pré-óptico medial, n. pré-óptico mediano, n. pré-óptico periventricular e n. periventricular posterior.

Aderência intertalâmica
Sulco hipotalâmico
Núcleo dorsomedial
Forame interventricular
Fórnix
Tracto mamilo-talâmico
Comissura anterior
Núcleo paraventricular
Área pré-óptica
Lâmina terminal
Núcleo supra-óptico
Nervo óculo-motor
Núcleo supraquiasmático
Corpo mamilar
Núcleo posterior
Área lateral do hipotálamo
Núcleo arqueado
Haste infundibular
Núcleo ventro-medial
Quiasma óptico

Fig. 23.1 — *Esquema da região hipotalâmica do hemisfério direito mostrando os principais núcleos. O fórnix divide o hipotálamo cm uma área lateral (em vermelho) e outra medial (em amarelo), onde estão os principais núcleos. (Modificado de Nauta, W.J.F. and Haymaker, W.* — 7969 — *The hypothalamus, C.C.Thomas, Springfield,Ill.)*

2.0 — CONEXÕES DO HIPOTÁLAMO

O hipotálamo tem conexões muito amplas e complicadas*, algumas por meio de fibras que se reúnem em feixes bem definidos, outras através de feixes mais difusos e de difícil identificação. A seguir serão estudadas, de uma maneira esquemática, apenas as conexões mais importantes, agrupando-as de modo a evidenciar

* *Para uma revisão sobre o assunto, veja Ricardo, J.A. — 1983 — "Hypothalamic pathways involved in metabolic regulatory functions, as identified by track-tracing methods".* Advances in Metabolic Disorders *10:1-30.*

suas relações com as grandes funções do hipotálamo.

2.1 — CONEXÕES COM O SISTEMA LÍMBICO

O sistema límbico compreende uma série de estruturas relacionadas principalmente com a regulação do comportamento emocional (Cap. 28). Dentre elas destacam-se, pelas relações recíprocas que têm com o hipotálamo, o hipocampo, o corpo amigdalóide e a área septal:

a) *hipocampo* — liga-se pelo fórnix aos núcleos mamilares do hipotálamo, de onde os impulsos nervosos seguem para o núcleo anterior do tálamo através do *fascículo mamilo-talâmico* (Fig. 23.1), fazendo parte do chamado *circuito de Papez* (Fig. 28.2). Dos núcleos mamilares, impulsos nervosos chegam também à formação reticular do mesencéfalo pelo *fascículo mamilo-tegmentar*;

b) *corpo amigdalóide* — libras originadas nos núcleos amigdalóides chegam ao hipotálamo principalmente através da estria terminal (Fig. 8.8);

c) *área septal* — a área septal liga-se ao hipotálamo através de fibras que percorrem o feixe prosencefálico medial (Fig. 28.3).

2.2 — CONEXÕES COM A ÁREA PRÉ-FRONTAL

Estas conexões têm o mesmo sentido funcional das anteriores, visto que o córtex da área pré-frontal também se relaciona com o comportamento emocional. A área pré-frontal mantém conexões com o hipotálamo diretamente ou através do núcleo dorsomedial do tálamo.

2.3 — CONEXÕES VISCERAIS

Para exercer seu papel básico de controlador das funções viscerais, o hipotálamo mantém conexões aferentes e eferentes com os neurônios da medula e do tronco encefálico, relacionados com essas funções.

2.3.1 — Conexões Viscerais Aferentes

O hipotálamo recebe informações sobre a atividade das vísceras através de suas conexões diretas com o núcleo do tracto solitário* *(fibras solitário-hipotalâmicas)*. Como já foi visto, este núcleo recebe toda a sensibilidade visceral, tanto geral como especial (gustação), que entra no sistema nervoso pelos nervos facial, glossofaríngeo e vago.

2.3.2 — Conexões Viscerais Eferentes

O hipotálamo controla o sistema nervoso autônomo agindo direta ou indiretamente sobre os neurônios pré-ganglionares dos sistema simpático e parassimpático. As conexões diretas se fazem através de fibras que, de vários núcleos do hipotálamo, terminam seja nos núcleos da coluna eferente visceral geral do tronco encefálico, seja na coluna lateral da medula *(fibras hipotálamo-espinhais)*. As conexões indiretas se fazem através da formação reticular.

2.4 — CONEXÕES COM A HIPÓFISE (Figs. 23.2, 23.3)

O hipotálamo tem apenas conexões eferentes com a hipófise, que são feitas através dos tractos hipotálamo-hipofisário e túbero-infundibular:

a) *tracto hipotálamo-hipofisário* — é formado por fibras que se originam nos neurônios grandes (magnocelulares) dos núcleos supra-óptico e paraventricular e terminam na neuro-hipófise (Fig. 23.2). As fibras deste tracto, que constituem os principais componentes estruturais da neuro-hipófise, são ricas em neurossecreção, como será visto no item 4.1;

b) *tracto túbero-infundibular* (ou túbero-hipofisário) — é constituído de fibras neurossecretoras que se originam em neurônios pequenos (parvicelulares) do núcleo arqueado e áreas vizinhas do hipotálamo tuberal e terminam na eminência mediana e na haste infundibular (Fig. 23.3).

---

* A descoberta dessas conexões deve-se ao neurobiólogo brasileiro J. A. Ricardo, em colaboração com E.T. Korch (Brain Research 153: 1-26, 1978).

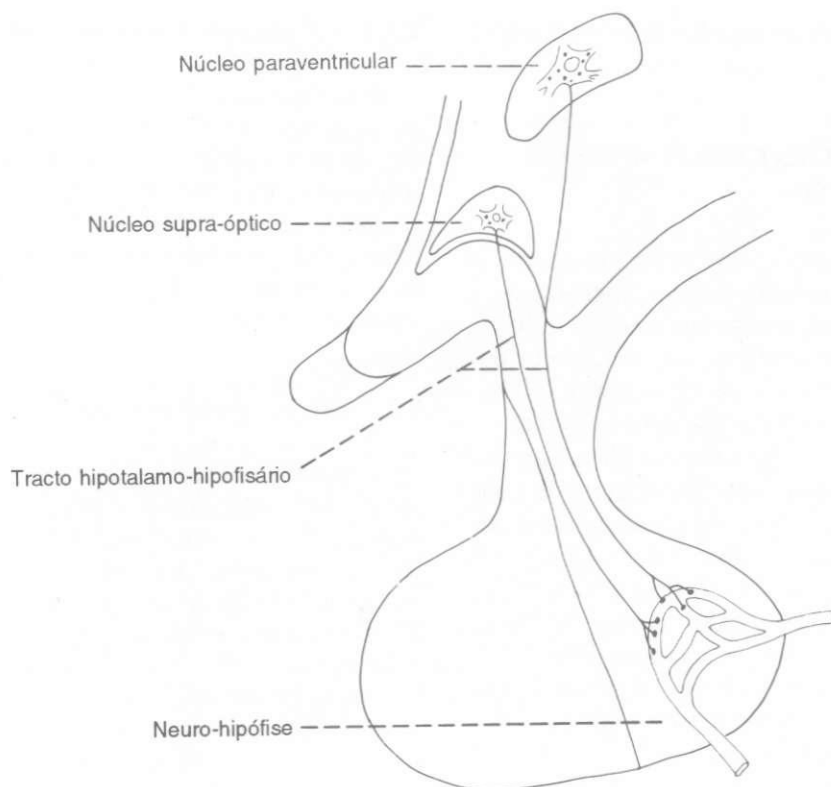



Fig. 23.2 — *Conexões do hipotálamo com a neuro-hipófise.*

2.5 — CONEXÕES SENSORIAIS

Além das informações sensoriais provenientes das vísceras, já vistas no item 2.3.1, diversas outras modalidades sensoriais têm acesso ao hipotálamo por vias indiretas, nem sempre bem conhecidas. Assim, por exemplo, o hipotálamo recebe informações sensoriais das áreas eretogênicas, como os mamilos e órgãos genitais, importantes para o fenômeno da ereção. Sabe-se também que existem conexões diretas do córtex olfatório e da retina com o hipotálamo. Estas últimas se fazem através do ***tracto** retino-hipotalâmico* que termina no núcleo supraquiasmático.

2.6 — CONEXÕES MONOAMINÉRGICAS

Vários grupos de neurônios noradrenérgicos da formação reticular do tronco encefálico projetam-se para o hipotálamo, assim como neurônios serotoninérgicos oriundos dos núcleos da rafe (Fig. 20.1).

3.0 — FUNÇÕES DO HIPOTÁLAMO

As funções do hipotálamo são muito numerosas e importantes, quase todas elas relacionadas com a homeostase, ou seja, com a manutenção do meio interno dentro de limites compatíveis com o funcionamento adequado dos diversos órgãos. Para isto, o hipotálamo tem um papel regulador sobre o sistema nervoso autônomo e o sistema endócrino, além de controlar vários processos motivacionais importantes para a sobrevivência do indivíduo e da espécie, como a fome, a sede e o sexo. As principais funções do hipotálamo são descritas de maneira sucinta nos itens que se seguem.

3.1 — CONTROLE DO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO

O hipotálamo é o centro supra-segmentar mais importante do sistema nervoso autônomo, exercendo esta função juntamente com outras áreas do cérebro, cm especial com as do sistema límbico. Estimulações elétricas em áreas deter-

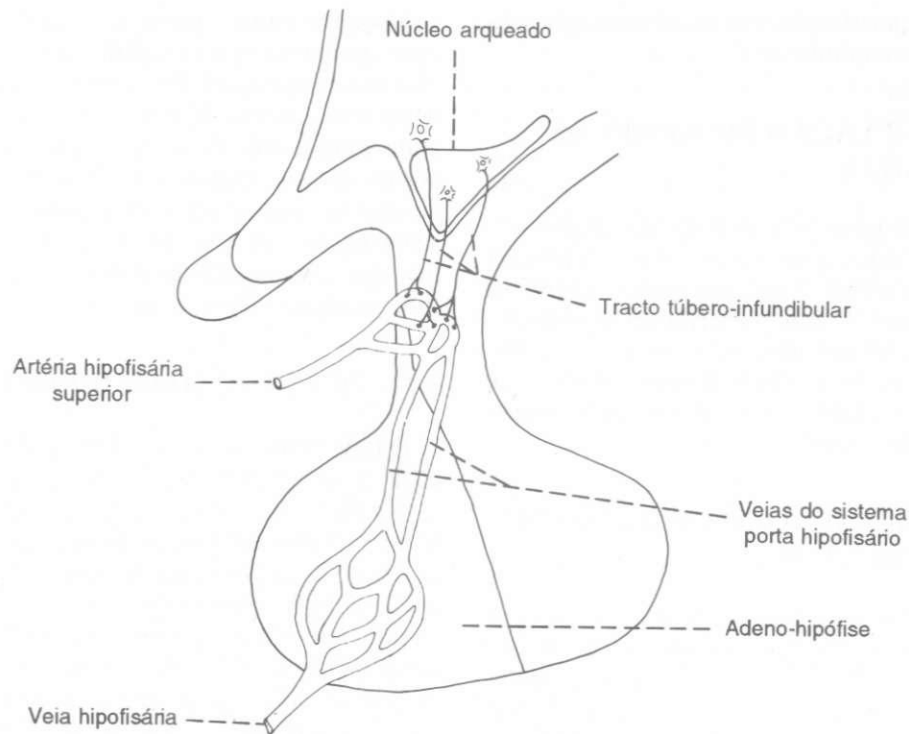



Fig. 23.3 — *Conexões do hipotálamo com a adeno-hipófise.*

minadas do hipotálamo dão respostas típicas dos sistemas parassimpático e simpático. Quando estas estimulações são feitas no hipotálamo anterior, determinam aumento do peristaltismo gastrointestinal, contração da bexiga, diminuição do ritmo cardíaco e da pressão sangüínea, assim como constrição da pupila. Assim, o hipotálamo anterior controla principalmente o sistema parassimpático, enquanto o posterior controla principalmente o sistema simpático.

3.2 — REGULAÇÃO DA TEMPERATURA CORPORAL

A capacidade de regular a temperatura corporal, característica especial dos animais homeotérmicos, é exercida pelo hipotálamo. Este é informado da temperatura corporal, não só por termorreceptores periféricos, mas principalmente por neurônios localizados no hipotálamo anterior que funcionam como termorreceptores. Assim, o hipotálamo funciona como um termostato capaz de detectar as variações de temperatura do sangue que por ele passa e ativar os mecanismos de perda ou de conservação do calor necessários à manutenção da temperatura normal. Existem, pois, no hipotálamo dois centros: o *centro da perda do calor,* situado no hipotálamo anterior, e o *centro da conservação do calor,* situado no hipotálamo posterior. Estimulações no primeiro desencadeiam fenômenos de vasodilatação periférica e sudorese, que resultam em perda de calor; já as estimulações no segundo resultam em vasoconstrição periférica, tremores musculares (calafrios) e até mesmo liberação do hormônio tireoidiano, que funcionam no sentido de gerar ou conservar o calor. Por outro lado, lesões do centro da perda do calor no hipotálamo anterior em conseqüência, por exemplo, de traumatismos cranianos, causam uma elevação incontrolável da temperatura (febre central), quase sempre fatal. Este é um acidente que pode surgir nas cirurgias da hipófise em que se manipula a região hipotalâmica próxima ao quiasma óptico.

3.3 — REGULAÇÃO DO COMPORTAMENTO EMOCIONAL

O hipotálamo, juntamente com o sistema límbico e a área pré-frontal, tem papel importante na regulação de processos emocionais.

como raiva, medo, prazer etc., assunto que será estudado no capítulo 28.

3.4 — REGULAÇÃO DO SONO E DA VIGÍLIA

Lesões da parte posterior do hipotálamo podem causar sono, como ocorre, por exemplo, na doença conhecida como *encefalite letárgica*. Ao que parece, a parte posterior do hipotálamo relaciona-se principalmente com a vigília, reforçando a ação do sistema ativador reticular ascendente (SARA), cuja importância, entretanto, é muito maior.

3.5 — REGULAÇÃO DA INGESTÃO DE ALIMENTOS

A estimulação do hipotálamo lateral faz com que o animal se alimente vorazmente, enquanto a estimulação do núcleo ventromedial do hipotálamo causa total saciedade, ou seja, o animal recusa-se a comer mesmo na presença de alimentos apetitosos. Lesões destrutivas dessas áreas causam efeitos opostos aos da estimulação. Assim, lesões da área lateral do hipotálamo causam uma ausência completa do desejo de alimentar, levando o animal à inanição, enquanto nas lesões do núcleo ventromedial o animal alimenta-se exageradamente, tornando-se extremamente obeso*. Com base nessas experiências, costuma-se distinguir no hipotálamo um ***centro da fome,*** situado no hipotálamo lateral, e um ***centro da saciedade***, correspondendo ao núcleo ventromedial. Entretanto, há evidências de que a regulação da ingestão de alimentos é um fenômeno muito complexo, que envolve também outras áreas do sistema nervoso central, em especial as do sistema límbico.

3.6 — REGULAÇÃO DA INGESTÃO DE ÁGUA

A lesão de uma área do hipotálamo lateral freqüentemente denominada ***centro da sede*** faz com que o animal perca a vontade de beber água, podendo morrer desidratado, embora tenha água disponível. Por outro lado, estímulos nesta área, através de eletrodos aí implantados, aumentam a sede do animal, que pode morrer por excesso de ingestão de água. Há evidência de que no centro da sede existem neurônios sensíveis às variações locais de pressão osmótica, que têm importante papel na regulação do funcionamento desse centro.

3.7 — REGULAÇÃO DA DIURESE

O hipotálamo tem importante papel na regulação da quantidade de água no organismo. Isto se faz não só pelo controle da ingestão de água (item 3.6), mas também pela regulação da quantidade de água eliminada na urina. Para isto os núcleos supra-óptico e paraventricular do hipotálamo sintetizam o *hormônio antidiurético*, também chamado *vasopressina*, que age aumentando a absorção de água nos túbulos renais e, conseqüentemente, diminuindo a eliminação de água pela urina (diurese). Dados mais minuciosos sobre a síntese do hormônio antidiurético e sua liberação na neuro-hipófise serão estudados no item 4.0, a propósito das relações hipotálamo-hipofisárias.

3.8 — REGULAÇÃO DO SISTEMA ENDÓCRINO

O hipotálamo regula a secreção de todos os hormônios da adeno-hipófise e deste modo exerce ação controladora sobre quase todo o sistema endócrino. Os mecanismos através dos quais o hipotálamo regula a secreção dos hormônios da adeno-hipófise serão estudados mais adiante (item 4.2).

3.9 — GERAÇÃO E REGULAÇÃO DE RITMOS CIRCADIANOS

A maioria de nossos parâmetros fisiológicos, metabólicos ou mesmo comportamentais sofre oscilações que se repetem no período de 24 horas. Isto se observa, por exemplo, na temperatura corporal, no nível circulante de eosinófilos, de vários hormônios, glicose e várias outras substâncias, ou mesmo nos padrões de atividade motora e de sono e vigília. O interessante

---

* *Lesões da área ventromedial do hipotálamo do homem causadas, por exemplo, por tumores supra-selares resultam também em um quadro de obesidade freqüentemente acompanhado de hipogonadismo, por interferência com os mecanismos hipotalâmicos que regulam a secreção dos hormônios gonadotrópicos pela adeno-hipófise. Neste caso temos a chamada* síndrome adiposogenital de Fröhlich.

é que essas variações rítmicas são endógenas, ou seja, elas ocorrem mesmo quando o animal é mantido em escuro permanente. Neste caso, entretanto, o ritmo pouco a pouco perde o seu sincronismo com o ritmo externo de claro e escuro, e o período de oscilação passa a ser ligeiramente diferente de 24 horas, donde o termo circadiano, do latim ***circa*** (= cerca) e ***dies*** (= dia), ou seja, de aproximadamente um dia.

Os ritmos circadianos ocorrem em quase todos os organismos e são gerados em marcapassos ou relógios biológicos. Está hoje demonstrado que, nos mamíferos, o principal marcapasso circadiano situa-se no núcleo supraquiasmático do hipotálamo (Fig. 23.1), cuja destruição abole os ritmos circadianos*. Os próprios neurônios do núcleo supraquiasmático exibem uma atividade circadiana evidenciável em seu metabolismo ou em sua atividade elétrica. Verificou-se que um ritmo circadiano de atividade elétrica pode ser observado até mesmo em neurônios do núcleo supraquiasmático mantidos ***in vitro.*** Cabe lembrar que o núcleo supraquiasmático recebe informações sobre a luminosidade do ambiente através do tracto retino-hipotalâmico, o que lhe permite sincronizar os ritmos circadianos com o ritmo de claro/escuro.

4.0 — RELAÇÕES HIPOTÁLAMO-HIPOFISÁRIAS

4.1 — RELAÇÕES DO HIPOTÁLAMO COM A NEURO-HIPÓFISE

As idéias de que o hipotálamo teria relações importantes com a neuro-hipófise surgiram a propósito da doença conhecida como ***diabete insípido.*** Esta doença caracteriza-se por um grande aumento da quantidade de urina eliminada, sem que haja eliminação de glicose, como ocorre no ***diabete*** *melito.* Ela é devida à diminuição dos níveis sangüíneos do ***hormônio*** *antidiurético.* Verificou-se que o diabete insípido ocorre não só em processos patológicos da neuro-hipófise, mas também em certas lesões do hipotálamo. Sabe-se hoje que isto se deve ao fato de que o hormônio antidiurético é sintetizado pelos neurônios dos núcleos supra-óptico e paraventricular do hipotálamo e, a seguir, é transportado pelas fibras do tracto hipotálamo-hipofisário (Fig. 23.2), até a neuro-hipófise, onde é liberado.

Para o estabelecimento deste fato foram de grande importância os trabalhos do casal Scharrer e de Bargmann, estabelecendo o conceito de *neurossecreção* segundo o qual alguns neurônios seriam capazes não só de conduzir impulsos nervosos, mas de sintetizar e secretar substâncias ativas. Bargmann verificou que os neurônios dos núcleos supra-óptico e paraventricular contêm grânulos que se coram em azul-escuro pela hematoxilina-crônica de Gomori, os chamados grânulos de substância Gomori-positiva (Fig. 23.4), os quais são observados também nas fibras do tracto hipotálamo-hipofisário e na neuro-hipófise, onde estas fibras terminam. Sugeriu que os grânulos são sintetizados no hipotálamo e migram no exoplasma dos axônios do tracto hipotálamo-hipofisário até a neuro-hipófise, onde são armazenados e liberados. A confirmação desta hipótese, hoje universalmente aceita, foi feita por Hild, discípulo de Bargmann. Esse autor seccionou a haste hipofisária do sapo e verificou o desaparecimento dos grânulos Gomori-positivos da neuro-hipófise e seu acúmulo no coto proximal da haste seccionada.

O conceito atual é que os grandes neurônios neurossecretores dos núcleos supra-óptico e paraventricular sintetizam os hormônios antidiurético e ocitócico, ambos de natureza polipeptídica, além da substância Gomori-positiva. Esta teve sua composição química elucidada, sendo

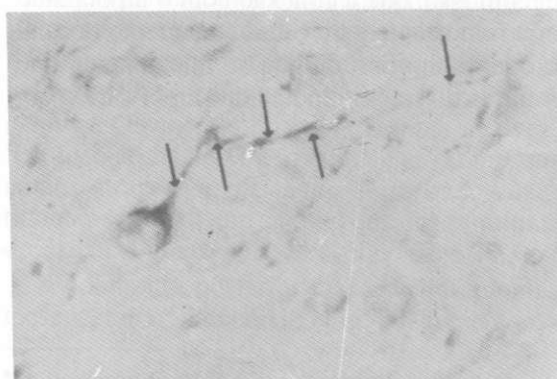



Fig. 23.4 — ***Neurônio*** *neurossecretor* ***do núcleo*** *supra-óptico* ***de macaco guariba*** *(Allouata),* ***contendo substância*** *Gomori-positiva* ***no corpo celular c*** *HO* ***axônio (setas).*** *Hematoxilinaalúmen-crônica (Preparação* ***do técnico Rubens Miranda).***

* ***Not primatas c no*** *homem, entretanto,* ***alguns poucos ritmos, como o da*** *temperatura* ***corporal, são preservados após a destruição do núcleo supraquiasmático, sugerindo a*** *existência* ***dc um segundo marcapasso.***

modernamente denominada *neurofisina*, proteína que serve de "portadora" dos dois hormônios até a neuro-hipófise. Na neuro-hipófise as libras do tracto hipotálamo-hipofisário terminam em relação com vasos situados em septos conjuntivos, o que permite a liberação dos hormônios na corrente sangüínea. Este é um dos poucos exemplos de axônios que terminam sem inervar músculo ou glândula, nem fazer sinapse com outro neurônio. Como já foi visto, o hormônio antidiurético age nos túbulos renais aumentando a absorção de água. Já a ocitocina promove a contração da musculatura uterina c das células mioepiteliais das glândulas mamárias. sendo importante no momento do parto ou na ejeção do leite. Este último fenômeno envolve um reflexo neuroendócrino através do qual os impulsos sensoriais que resultam da sucção do mamilo pela criança são levados à medula e daí ao hipotálamo, onde estimulam a produção de ocitocina pelos núcleos supra-óptico e paraventricular c sua liberação na ncuro-hipófise.

4.2 -- RELAÇÕES DO HIPOTÁLAMO COM A ADENO-HIPÓFISE

A existência de ligações entre o hipotálamo e a adeno-hipófise já havia sido suspeitada com base clínica e experimental. Assim, nos casos em que a adeno-hipófise era enxertada em outras áreas, tirada. por conseguinte, de suas relações com o hipotálamo, ela mantinha sua secreção, mas em ritmo muito menor. Suspeitou-se, com isso, que a conexão com o hipotálamo seria importante para o funcionamento normal da adeno-hipófise. Julgou-se inicialmente que as libras do tracto hipotálamo-hipofisário passariam também â adeno-hipófise, mas isto não foi demonstrado.

Sabe-se hoje que o hipotálamo regula a secreção dos hormônios da adeno-hipófise por um mecanismo que envolve uma conexão nervosa e outra vascular. Através da primeira, neurônios neurossecretores situados no núcleo arqueado e áreas vizinhas do hipotálamo tuberal secretam substâncias ativas que descem por fluxo axoplasmático nas libras do *tracto túbero-infundibular* (Fig. 23.3) e são liberadas em capilares especiais situados na eminência mediana e na haste infundibular. Inicia-se então a conexão vascular, que se faz através do *sistema porta hipofisário* (Fig. 23.3). Lembremos que sistema porta é aquele constituído por veias interpostas entre suas redes capilares. As substâncias ativas liberadas pelo hipotálamo na primeira dessas redes, ou seja, na eminência mediana e na haste infundibular, passam através das veias do sistema porta à segunda rede capilar situada na adeno-hipófise, onde atuam regulando a liberação dos hormônios pelas células adeno-hipofisárias. Isto pode ser feito facilitando ou inibindo a liberação desses hormônios, existindo pois os chamados *fatores de liberação* e *fatores de inibição*. Todos os hormônios adeno-hipofisários têm um fator de liberação e alguns, como a prolactina e os hormônios de crescimento, têm também fatores de inibição. Com exceção do fator de inibição da prolactina que é uma monoamina (dopamina), todos os demais fatores são peptídeos.

A descoberta de que o hipotálamo regula a liberação dos hormônios da adeno-hipófise veio mudar o conceito tradicional de que esta glândula seria a "glândula mestra" reguladora de todo o sistema endócrino. Assim, modernamente a adeno-hipófise pode ser considerada apenas como um elo entre o hipotálamo e as glândulas endócrinas que ela regula.

Capítulo 24

Estrutura e Funções do Subtálamo e do Epitálamo

1.0 — SUBTÁLAMO

É uma pequena área situada na parte posterior do diencéfalo na transição com o mesencéfalo, limitando-se superiormente com o tálamo. lateralmente com a cápsula interna e medialmente com o hipotálamo (Fig. 32.14). As formações subtalâmicas só podem ser observadas em secções do diencéfalo, uma vez que não se relacionam com sua superfície externa ou com as paredes do III ventrículo. Estando situado na transição com o mesencéfalo, algumas estruturas mesencefálicas estendem-se até o subtálamo, como o núcleo rubro, a substância negra c a formação reticular, constituindo esta a chamada *zona incerta* do subtálamo. Contudo, o subtálamo apresenta algumas formações cinzentas e brancas que lhe são próprias, sendo o mais importante o *núcleo subtalâmico* (Fig. 7.1). Este núcleo tem conexões nos dois sentidos com o globo pálido através do *circuito pálido-subtálamo-palidal* importante para a regulação da motricidade somática. Lesões do núcleo subtalâmico provocam uma síndrome conhecida como *hemibalismo,* caracterizada por movimentos anormais das extremidades. Estes movimentos são muito violentos e muitas vezes não desaparecem nem com o sono, podendo levar o doente à exaustão.

O subtálamo é atravessado por vários feixes de libras de nomenclatura c sistematização bastante complicadas*, destacando-se as libras que do globo pálido se dirigem ao tálamo ou ao núcleo subtalâmico.

2.0 — EPITÁLAMO (Fig. 24.1)

Está localizado na parte superior e posterior do diencéfalo e contém formações endócrinas e não endócrinas. A formação endócrina mais importante é a *glândula pineal*** (Figs. 5.2 e 24.1). As formações não endócrinas são os núcleos da habênula situados no trígono da habênula (Fig. 5.2), a comissura das habênulas. as estrias medulares c a comissura posterior (Figs. 5.2 e 24.1). Com exceção da comissura posterior. todas as formações não endócrinas do epitálamo pertencem ao sistema límbico (capítulo 28), estando, pois, relacionadas com a regulação do comportamento emocional.

As *estrias medulares* contêm principalmente fibras originadas na área septal e que terminam nos núcleos da habênula do mesmo lado, ou do lado oposto, cruzando-se na *comissura das habênulas.* Os *núcleos da habênula.* por sua vez, ligam-se ao núcleo interpeduncular do mesencéfalo através do *fascículo retroflexo,* constituindo-se. assim, um circuito que liga estruturas do sistema límbico ao mesencéfalo (Fig. 28.3).

A comissura posterior marca o limite entre mesencéfalo e diencéfalo (Fig. 24.1) e é cons-

* ***Estes*** *feixes são: a alça lenticular, o fascículo lenticular, ou campo H_2 de Forel (Fig. 31.14), o fascículo talâmico ou campo **H** de Forcl, o fascículo subtalâmico c as fibras do campo pré-rúbrico (campo H dc Forcl).*

** *Uma outra estrutura epitalâmica provavelmente endócrina é o órgão subcomissural, representado por um espessamento do epêndima situado abaixo da comissura posterior c que parece estar envolvido na regulação do metabolismo da água c dos sais minerais. No homem adulto, entretanto, o órgão subcomissural é muito pouco desenvolvido.*

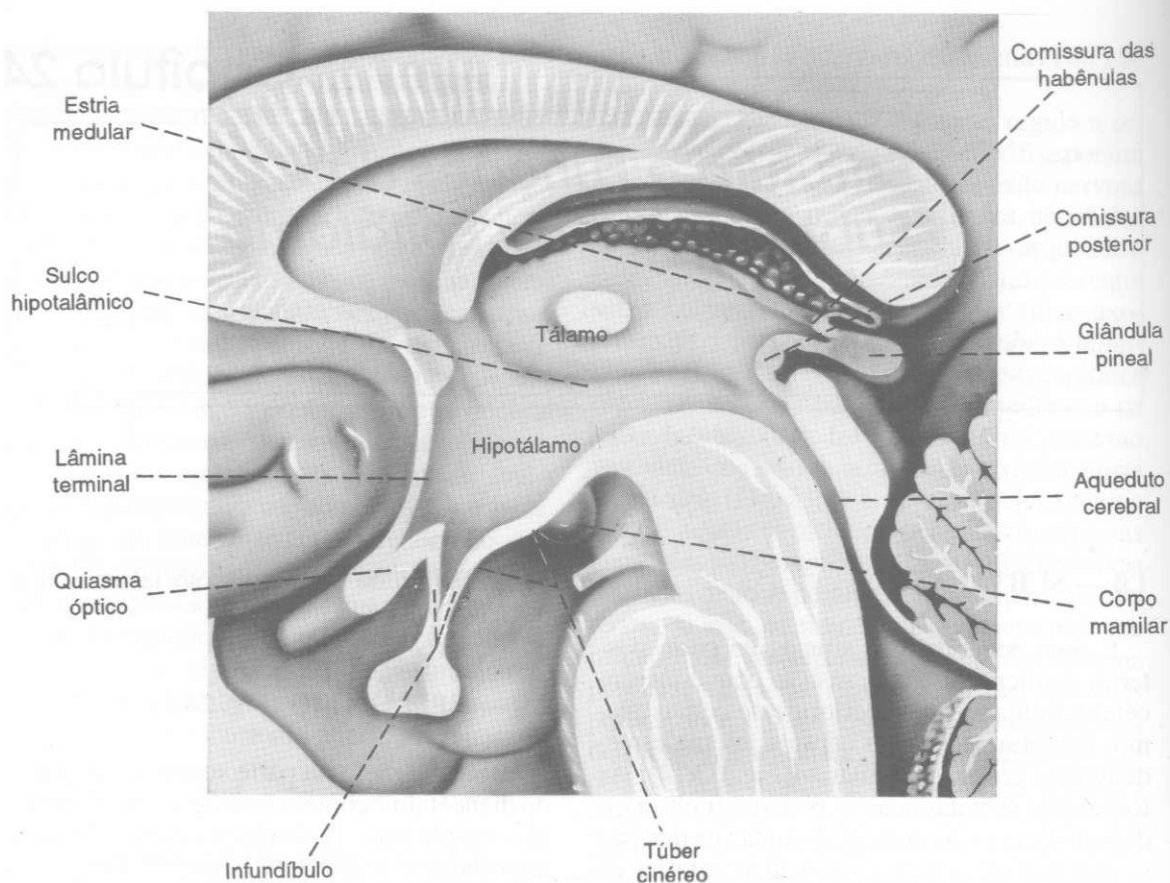



Fig. 24.1 — *Diencéfalo mostrando algumas estruturas do epitálamo e, nas paredes do III ventrículo, o tálamo e o hipotálamo.*

tituída por fibras de origem muito variada. Entre estas destacam-se as fibras que, da área pré-tectal de um lado, cruzam para o núcleo de Edinger-Westphal, do lado oposto, intervindo no reflexo consensual. Certos tumores da glândula pineal que comprimem a comissura posterior podem lesar estas fibras, abolindo o reflexo consensual. O reflexo fotomotor. direto, no entanto. pode permanecer intacto.

2.1 — GLÂNDULA PINEAL

2.1.1 — Filogênese, Embriologia e Estrutura

Em todos os vertebrados, a glândula pineal, corpo pineal ou epífise, origina-se embriologicamente de um divertículo ependimário no teclo do III ventriculo, entre as comissuras posterior e habenular. Forma-se, assim, um saco revestido de epêndima em comunicação com a cavidade ventricular. Nos peixes, anfíbios e alguns répteis, este saco permanece como tal e as células ependimárias de sua parede diferenciam-se em fotorreceptores que se assemelham aos cones e bastonetes da retina. Assim, nesses vertebrados inferiores, a pineal é um órgão sensorial que recebe os estímulos luminosos que atravessam a pele e o crânio. Já nas aves e mamíferos, as células ependimárias que formam o divertículo embrionário multiplicam-se, obliterando a luz do divertículo. Estas células diferenciam-se nas células parenquimatosas do corpo pineal ou *pinealócitos.* Deste modo, durante a evolução, o corpo pineal passou de um órgão sensorial para um órgão parenqui matoso e secretor.

Em alguns vertebrados inferiores existe, além do corpo pineal, o órgão parapineal, situado próximo à pineal e muito variável. Em alguns lagartos ele constitui o chamado terceiro olho, ímpar e mediano, situado entre os dois olhos laterais. Estudaremos apenas a pineal dos mamíferos e em particular a do homem, cuja posição é mostrada nas Figs. 5.2 e 24.1.

Durante o desenvolvimento embrionário, a glândula pineal é invadida por tecido conjuntivo derivado da pia-máter que forma a *cápsula* do órgão c penetra em seu inferior formando *septos.* A estrutura da pineal é. pois, complexa devido à existência de elementos mesodérmicos derivados da pia-máter c elementos derivados do epêndima, ou seja, neurectodérmicos. Entre os primeiros encontramos todas as células e fibras encontradas no tecido conjuntivo frouxo*. Entre os derivados neurectodérmicos, temos as células da glia c a célula parenqui matosa própria da pineal, o pinealócito. Além desses elementos, a pineal do homem c de alguns animais apresenta *concreções calcárias* que aumentam com a idade. Estas concreções têm importância radiológica, pois são opacas aos raios X. permitindo localizar exatamente a posição da pineal e as mudanças desta posição causadas por processos patológicos que comprimem a glândula.

A pineal é muito vascularizada e seu fluxo sangüíneo é superado apenas pelo do rim. segundo pesquisas realizadas no rato. O microscópio eletrônico mostrou que os capilares da pineal têm fenestrações, no que diferem dos demais capilares do cérebro. Isto. possivelmente. explica a ausência dc barreira hemoencefálica na glândula pineal.

A inervação da pineal se faz por fibras simpáticas pós-ganglionares, oriundas do gânglio cervical superior que entram no crânio pelo plexo carotídeo, peneiram no ápice da glândula e terminam cm relação com os pinealócitos e com os vasos (Figs. 24 2, 24.3). Como será visto a seguir, esta inervação simpática tem importante papel na regulação da síntese do hormônio pineal.

2.1.2 — Aspectos Funcionais

Durante muito tempo acreditou-se que a pineal dos mamíferos seria apenas um vestígio filogenético do chamado terceiro olho encontrado cm alguns lagartos sendo, por conseguinte, destituída de qualquer função. Entretanto, embora vários aspectos da fisiologia da glân-

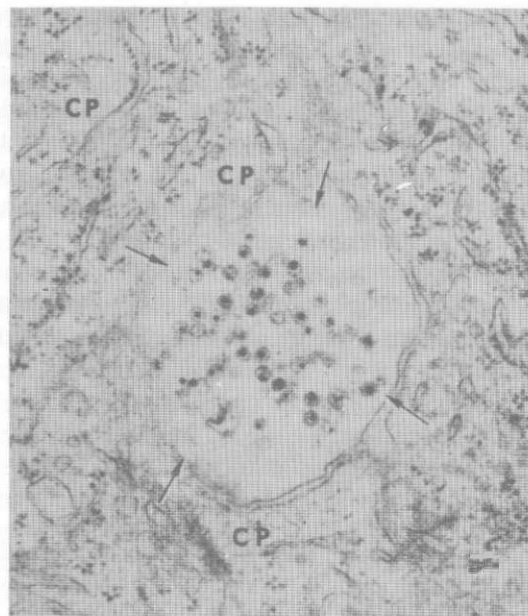



Fig. 24.2 — *Eletromicrografia dc uma fibra simpática (setas) contendo vesículas granulares cm íntimo contato com um pinealócito do rato. CP = citoplasma do pinealócito. Aumento 37.700 vezes. (Reproduzido de Machado, 1971 — Progress in Brain Research. 34:171-185.)*

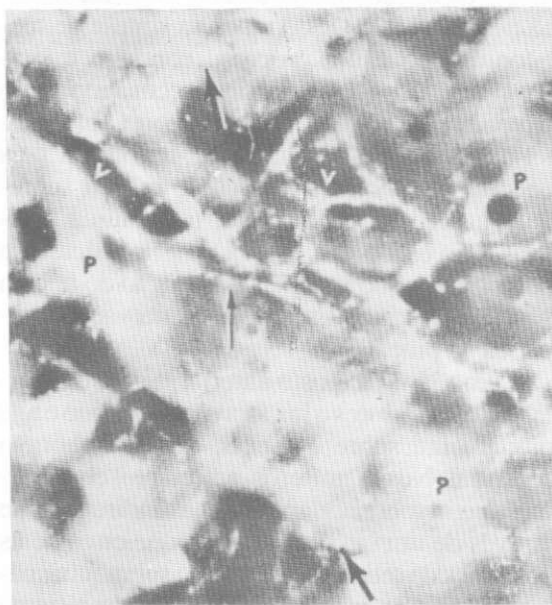



Fig. 24.3 — *Corte histológico de glândula pineal do rato (método de Falck para monoaminas). A fluorescência observada neste caso é devida à presença de serotonina nos pinealócitos (P) e nas Jibras nervosas (setas). V — vasos. (Reproduzido dc Machado. C.R.S.: Wragg, L.E. and Machado. A.B.M. — 1968 — Brain Research. 8:310-318.)*

* *A glândula pineal do homem c dc alguns animais é especialmente rica cm mastócitos cuja presença explica o alto teor de histamina encontrado nessas glândulas. (Machado, A.B.M., Faleiro L.C.M. & Dias da Silva, W. — 1965 — Zeitschrift für Zellforschung 65:521-529.)*

dula pineal ainda permaneçam obscuros, seu significado funcional começa a ser desvendado com bastante segurança. A descoberta mais importante nesta área foi feita em 1958, quando Lerner e colaboradores isolaram o hormônio da pineal denominado *melatonina*. Embora outros princípios ativos tenham sido descobertos na pineal, acredita-se que a melatonina seja a principal responsável pelas funções que têm sido atribuídas a essa glândula. A seguir estudaremos alguns aspectos da secreção de melatonina.

2.1.2.1 — Secreção de Melatonina. Ação da Luz sobre a Pineal

A melatonina é uma indolamina sintetizada pelos pinealócitos a partir da serotonina, substância que existe em grande quantidade nessas células (Fig. 24.3). O processo de síntese é ativado pela noradrenalina liberada pelas fibras simpáticas*. Durante o dia essas fibras têm pouca atividade e os níveis dc melatonina na pineal e na circulação são muito baixos. Entretanto, durante a noite, a inervação simpática da pineal é ativada, liberando noradrenalina, e os níveis de melatonina circulante aumentam cerca de dez vezes. Deste modo, a síntese de melatonina não é um processo contínuo e suas concentrações no sangue obedecem a um ritmo circadiano, com pico durante a noite. Entretanto, esse ritmo não é intrínseco da pineal, pois decorre da atividade rítmica do núcleo supraquiasmático do hipotálamo, transmitida à pineal através de sua inervação simpática. Ele pode ser abolido seja pela destruição do núcleo supraquiasmático, seja pela desnervação simpática da pineal.

Como já foi exposto anteriormente, em vertebrados inferiores a luz atravessa o crânio e age diretamente sobre a pineal, que é um órgão sensorial. Nos mamíferos, entretanto, ela continua a agir sobre a glândula, mas indiretamente através de um circuito nervoso que envolve as conexões da retina com o núcleo supraquiasmático e deste com a pineal através do sistema simpático**. Ratos mantidos alguas dias sob ação constante da luz têm pineais mais leves e com teor diminuído de serotonina e melatonina. A cegueira ou permanência na escuridão constante têm efeito oposto. Demonstra-se pois que a luz inibe e o escuro ativa a glândula pineal. Este fato é importante para a compreensão da fisiologia dessa glândula.

Muitas funções já foram e continuam a ser atribuídas à glândula pineal***, muitas delas sem comprovação adequada, sendo a íisiologia deste órgão um capítulo especialmente controvertido. Entretanto, há consenso de que pelo menos em mamíferos ela tem uma atividade inibidora sobre as gônadas e que em muitos vertebrados c possivelmente no homem participa da regulação dos ritmos circadianos. Esses dois aspectos serão estudados a seguir.

2.1.2.2 — Ação Antigonadotrópica da Pineal

As primeiras idéias de que a pineal teria uma ação inibidora sobre as gônadas surgiram no início do século, quando se verificou que certos tumores da pineal são geralmente associados a um quadro de puberdade precoce. Pensou-se, inicialmente, que tal efeito se devesse à compressão do hipotálamo pelo tumor. Entretanto, hoje sabe-se que o que ocorre é uma destruição dos pinealócitos pelo tumor, cessando assim a ação frenadora que a pineal exerce sobre as gônadas, o que causa a puberdade precoce. Comprovando este fato existem experiências mostrando que a pinealectomia no rato feita pouco antes da puberdade causa um adiantamento desse fenômeno, além de um aumento no peso dos ovários. A injeção de melatonina tem efeito oposto. Sabe-se também que a luz tem um

* *Todas as etapas da síntese dc melatonina envolvendo várias enzimas assim como sua ativação pela noradrenalina são conhecidas cm detalhe. Para uma revisão sobre o assunto, veja Cardinali, D.P. & Vacas, M.I. — 1987 —* **Cellular and Molecular Neurobiology** *7:323-337.*

** *Entretanto, há evidência dc que cm ratos recém-nascidos a luz ainda é capaz de agir diretamente sobre a glândula pineal, regulando alguns aspectos dc seu metabolismo (Machado, C.R.S.: Machado, A.R.M. & Wragg, L.E. — 1969 —* Endocrinology *85:846-848).*

*** *Uma recente função atribuída à pineal com base em algumas evidências experimentais é de que ela participa na regulação da atividade imunológica através da liberação dc melatonina. Se essa função for confirmada, a pineal estará envolvida com alguns problemas médicos fundamentais. Para uma revisão sobre este assunto, veja Maestroni, J.M., Conti, A. & Pierpaoli, W. — 1989 — "Melatonin, Stress, and Immune System" in R.J. Reiter (Ed)* **Pineal Research Reviews** *7 pp.203-226, Alan R. Liss Inc.*

efeito estimulador sobre as gônadas. Assim, ratos colocados permanentemente sob ação da luz entram em estro permanente. Acredita-se que, ao menos em parte, esse efeito se deva à ação inibidora da luz sobre a pineal, diminuindo, assim, o efeito inibidor que esta exerce sobre as gônadas. Demonstrou-se em um roedor de laboratório, o hamster, que os testículos atrofiam quando o animal é colocado em um regime de 23 horas de escuro e uma hora de luz por dia. Esta atrofia, entretanto, não ocorre quando o animal é previamente pinealectomizado. Admite-se, neste caso. que o escuro estimule a pineal, que, então, aumenta sua ação inibidora sobre os testículos, causando sua atrofia depois de algum tempo. Na natureza, as gônadas desse animal atrofiam-se quando entra o inverno e o animal inicia seu período de hibernação. Acredita-se que a pineal esteja envolvida neste fenômeno, sendo estimulada pelos períodos escuros cada vez maiores no início do inverno. No homem, a evidência de uma ação da luz sobre os órgãos reprodutores mediada pela pineal é ainda pequena. Contudo, certas alterações da época de aparecimento da puberdade em meninas cegas de nascença poderiam ser explicadas deste modo.

2.1.2.3 — Regulação dos Ritmos Circadianos

Com a descoberta de que o teor de melatonina circulante sofre uma variação circadiana, levantou-se a hipótese de que ela poderia estar envolvida na regulação de outros ritmos circadianos existentes no organismo (capítulo 23, item 3.9). Isso ficou bem evidente em várias espécies de répteis e aves, cujo ritmo circadiano de atividade locomotora desaparece com a pinealectomia, efeito que não pode ser evidenciado em mamíferos. Nestes, entretanto, há evidência de que a pineal, através da liberação cíclica de melatonina, age sincronizando os vários ritmos circadianos com o ciclo externo de dia/noite. Assim, nos mamíferos a pinealectomia causa dessincronização de vários ritmos circadianos. Do mesmo modo, a administração de melatonina em horários adequados é capaz de mudar a fase dos ritmos circadianos podendo até mesmo corrigir alterações já existentes nesses ritmos, sincronizando-os com o ciclo externo de dia/noite. Há evidência de que este efeito se deve à ação da melatonina sobre o próprio núcleo supraquiasmático, que, como se demonstrou recentemente, é muito rico em receptores de melatonina. Como essas ações da melatonina ocorrem também no homem, ela começa a ter aplicação clínica como cronobiótico, ou seja uma substância usada como agente profilático ou terapêutico em casos de desordens dos ritmos circadianos. especialmente do ritmo de sono e vigília. Por exemplo, a melatonina tem sido usada para melhorar o mal-estar e a insônia observados após vôos intercontinentais em aviões a jato, quando, de repente, o indivíduo é deslocado para uma região onde já é noite quando, para seu 'relógio interno', ainda é dia*.

---

* *Para uma discussão mais detalhada sobre o papel da pineal e da melatonina sobre os ritmos circadianos. veja Cassone. V.M. — 1990 —* Trends in Neurosciences *13(11):457-464.*

Capítulo 25

Estrutura e Funções do Tálamo

1.0 — GENERALIDADES

O tálamo esta situado no diencéfalo, acima do sulco hipotalâmico (Fig. 24.1). É constituído de duas grandes massas ovóides de tecido nervoso, com uma extremidade anterior pontuda, o *tubérculo anterior do tálamo,* e outra posterior, bastante proeminente, o *pulvinar do tálamo* (Fig. 5.2). Os dois ovóides talâmicos estão unidos pela aderência intertalâmica e relacionam-se medialmente com o III ventrículo; lateralmente, com a cápsula interna; superiormente, com a fissura cerebral transversa e com os ventrículos laterais; e inferiormente, com o hipotálamo e subtálamo (Fig. 3.14).

Consideramos como pertencendo ao tálamo os dois *corpos geniculados,* o *lateral* e o *medial,* que alguns autores consideram como uma parte independente do diencéfalo denominada *metatálamo.*

O tálamo é fundamentalmente constituído de substância cinzenta, na qual se distinguem vários núcleos. Contudo, sua superfície dorsal é revestida por uma lâmina de substância branca, o extrato zonal do tálamo, que se estende à sua face lateral onde recebe o nome de *lâmina medular externa.* Entre esta e a cápsula interna, situado lateralmente, localiza-se o *núcleo reticular do tálamo.* O extrato zonal penetra no tálamo formando um verdadeiro septo, a *lâmina medular interna,* que percorre longitudinalmente o tálamo. Em sua extremidade anterior esta lâmina bifurca-se em Y, delimitando anteriormente uma área onde se localizam os núcleos talâmicos anteriores (Fig. 25.1). No interior da lâmina medular interna existem pequenas massas de substância cinzenta que constituem os *núcleos intralaminares do tálamo.* Esta lâmina é um importante ponto de referência para a divisão dos núcleos do tálamo em grupos.

2.0 — NÚCLEOS DO TÁLAMO

Os núcleos do tálamo são muito numerosos, podendo ser divididos em cinco grupos, de acordo com sua posição. Antes de fazermos esta divisão, convém esclarecer que a denominação das partes do tálamo nem sempre leva em conta sua orientação em relação aos planos de constituição do corpo humano. Assim, a parte dorsal ou superior do tálamo é a que se volta para o vértex do crânio; a parte ventral ou inferior, a que se lhe opõe; a parte anterior, a que se volta para o pólo frontal do cérebro e a parte posterior, a que se volta para o pólo occipital. De acordo com Walker, pode-se dividir os núcleos talâmicos em cinco grupos, que são *anterior, posterior, mediano, medial* e *lateral.*

2.1 — GRUPO ANTERIOR (Figs. 25.1, 32.14)

Compreende núcleos situados no tubérculo anterior do tálamo, sendo limitados posteriormente pela bifurcação em Y da lâmina medular interna. Estes núcleos recebem fibras dos núcleos mamilares pelo *fascículo mamilo-talâmico* (Fig. 23.1) e projetam fibras para o córtex do giro do cíngulo, integrando o circuito de Papez (Fig. 28.2), parte do sistema límbico. Relacionam-se, pois, com o comportamento emocional.

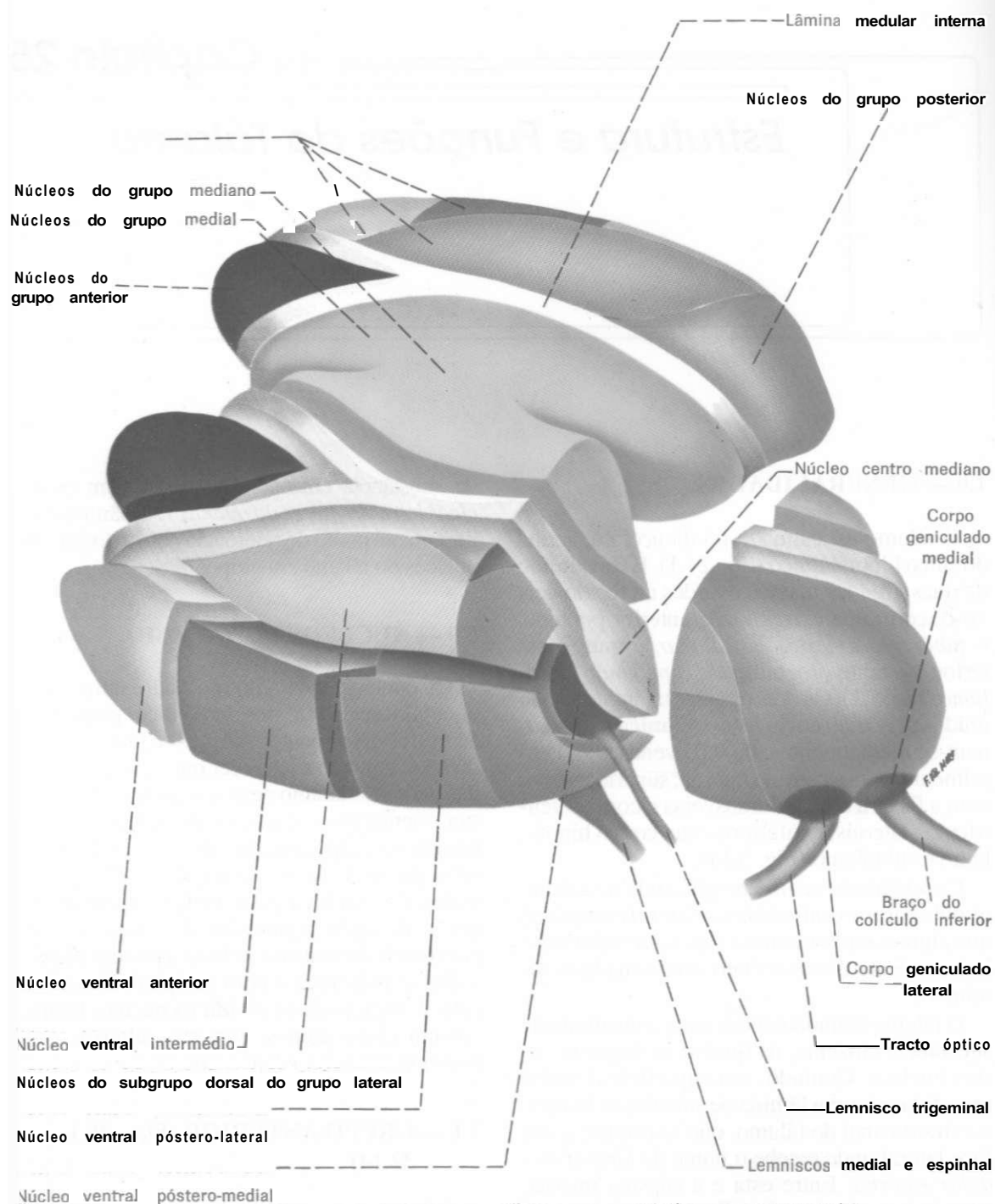



Fig. 25.1 — *Representação esquemática dos principais núcleos do tálamo (o núcleo reticular não foi representado).*

25.2 — GRUPO POSTERIOR

Situado na parte posterior do tálamo, compreende o pulvinar e os corpos geniculados lateral e medial (Fig. 25.1):

a) *pulvinar* — tem conexões recíprocas com a chamada área de associação têmporo-parietal do córtex cerebral situada nos giros angular e supramarginal. Apesar de ser o maior núcleo do tálamo do homem, suas funções não são ainda bem conhecidas. Embora existam relatos ocasionais de problemas de linguagem associados a lesões do pulvinar, nenhuma síndrome

particular c nenhum déficit sensorial resultam dessas lesões;

b) *corpo geniculado medial* — recebe pelo braço do colículo inferior libras provenientes do colículo inferior ou diretamente do lemnisco lateral. Projeta libras para a área auditiva do córtex cerebral, sendo, pois, um relé da via auditiva;

c) *corpo geniculado lateral* — a rigor não é um núcleo, pois é formado de camadas concêntricas de substância branca e cinzenta. Recebe pelo tracto óptico libras provenientes da retina. Projeta fibras pelo tracto genículo-calcarino para a área visual do córtex situada nas bordas do sulco calcarino. Faz parte, portanto, das vias ópticas.

2.3 — GRUPO LATERAL (Figs. 25.1, 32.14)

Este grupo é talvez o mais importante e o mais complicado. Compreende núcleos situados lateralmente à lâmina medular interna, que podem ser divididos em um subgrupo dorsal* e um subgrupo ventral. São mais importantes os núcleos do subgrupo ventral, ou seja:

a) *núcleo ventral (Ulterior (VA)* — recebe a maioria das fibras que do globo pálido se dirigem para o tálamo. Projeta-se para as áreas motoras do córtex cerebral c tem função ligada â motricidade somática;

b) *núcleo ventral lateral (VL)* — também chamado ventral intermédio, recebe as fibras do cerebelo e projeta-se para as áreas motoras do córtex cerebral. Integra pois a via cerebelo-tálamo-cortical, já estudada a propósito do cerebelo. Além disto, o núcleo ventral lateral recebe parte das fibras que do globo pálido se dirigem ao tálamo;

c) *núcleo ventral póstero-lateral* — é um núcleo relé das vias sensitivas, recebendo libras dos lemniscos medial e espinhal. Lembremos que o lemnisco medial leva os impulsos de tato epicrítico c propriocepção consciente. Já 0 lemnisco espinhal, formado pela união dos tractos espino-talâmicos lateral e anterior, transporta impulsos de temperatura, dor, pressão e tato protopático. O núcleo ventral póstero-lateral projeta libras para o córtex do giro pós-central, onde se localiza a área somestésica;

d) *núcleo ventral póstero-medial* — é também um núcleo relé das vias sensitivas. Recebe fibras do lemnisco trigeminal, trazendo sensibilidade somática geral de parte da cabeça e libras gustativas provenientes do núcleo do tracto solitário (libras solitário-talâmicas). Projeta libras para as áreas somestésica e gustativa situadas no giro pós-central.

Também faz parte do grupo lateral o *núcleo reticular do tálamo,* constituído por uma fina calota de substância cinzenta disposta lateralmente entre a massa principal de núcleos que constitui o ovóide talâmico e a cápsula interna. Nesta posição ele é atravessado pela quase totalidade das fibras tálamo-corticais ou cortico-talâmicas que passam pela cápsula interna. Sabe-se hoje que ao atravessar o núcleo reticular essas libras dão colaterais que nele estabelecem sinapses. O núcleo reticular não tem projeções para o córtex cerebral. Suas conexões principais são com os demais núcleos talâmicos c admite-se que exerce uma ação moduladora sobre a atividade desses núcleos.

2.4 — GRUPO MEDIANO (Fig. 25.1)

São núcleos localizados próximo ao plano sagital mediano, na aderência intertalâmica ou na substância cinzenta periventricular. Muito desenvolvidos nos vertebrados inferiores, os núcleos do grupo mediano são pequenos e de difícil delimitação do homem. Têm conexões principalmente com o hipotálamo e, possivelmente, relacionam-se com funções viscerais.

2.5 — GRUPO MEDIAL (Figs. 25.1, 32.14)

Compreende os núcleos situados dentro da lâmina medular interna *(núcleos intralaminares)* e o *núcleo dorsomedial,* situado entre esta lâmina e os núcleos do grupo mediano. Os núcleos intralaminares, entre os quais se destaca o *núcleo centro-mediano* (Fig. 25.1), recebem um grande número de libras da formação

* Os núcleos do subgrupo dorsal não foram individualizados na Fig. 25.1 e são: núcleo lateral dorsal e núcleo lateral posterior; suas funções são pouco conhecidas.

reticular e têm importante papel ativador sobre o córtex cerebral.

O núcleo dorsomedial recebe libras principalmente do corpo amigdalóide e do hipotálamo e tem conexões recíprocas com a parte anterior do lobo frontal, denominada área de associação pré-frontal. Suas funções relacionam-se com as funções desta área, que serão estudadas no capítulo 27 (item 6.2.1).

3.0 — RELAÇÕES TÁLAMO-CORTICAIS

Embora existam núcleos no tálamo que não têm conexões diretas com o córtex, na maioria dos núcleos estas conexões existem. As conexões entre um núcleo talâmico e uma determinada área cortical são geralmente recíprocas, ou seja, fazem-se através de fibras tálamo-corticais e córtico-talâmicas, que constituem as chamadas *radiações talâmicas*. Estas radiações talâmicas constituem uma grande parte da cápsula interna, sendo que o maior contingente delas sc destina às áreas sensitivas do córtex.

Quando se estimulam certos núcleos do tálamo, pode-se tomar potenciais evocados apenas em certas áreas específicas do córtex, relacionadas com funções específicas. Estes núcleos são denominados *núcleos talâmicos específicos*. Entre eles temos, por exemplo, o núcleo ventral póstero-lateral e o corpo geniculado medial, cuja estimulação evoca potenciais, respectivamente, na área somestésica e na área auditiva do córtex.

Por outro lado, existem núcleos no tálamo denominados *núcleos talâmicos inespecíficos*, cuja estimulação modifica os potenciais elétricos de territórios muito grandes do córtex cerebral c não apenas de áreas específicas deste córtex. Neste grupo estão os núcleos intralaminares.

As modificações da atividade elétrica do córtex, que resultam da estimulação destes núcleos, são semelhantes às que sc obtêm por estimulação da formação reticular, ou seja, resultam em ativação do córtex.

Os núcleos talâmicos inespecíficos recebem muitas libras de formação reticular e sabe-se que o sistema ativador reticular ascendente exerce sua ação sobre o córtex através desses núcleos. Os núcleos talâmicos inespecíficos, com suas conexões corticais, compõem o que muitos autores denominam de *sistema talâmico de projeção difusa*.

4.0 — CONSIDERAÇÕES FUNCIONAIS E CLÍNICAS SOBRE O TÁLAMO

Do que foi visto, é fácil concluir que o tálamo é, na realidade, um agregado dc núcleos de conexões muito diferentes, o que indica funções também diversas. Assim, as funções mais conhecidas do tálamo relacionam-se:

a) *com a sensibilidade* — as funções sensitivas do tálamo são as mais conhecidas e as mais importantes. Todos os impulsos sensitivos, antes dc chegar ao córtex, param em um núcleo talâmico, fazendo exceção apenas os impulsos olfatórios. O tálamo tem, assim, papel de distribuir às áreas específicas do córtex impulsos que recebe das vias lemniscais. Admite-se, entretanto, que o papel do tálamo não seja simplesmente de retransmitir os impulsos sensitivos ao córtex, senão de integrá-los e modificá-los. Acredita-se mesmo que o córtex só seria capaz de interpretar corretamente impulsos já modificados pelo tálamo. Sabe-se também que alguns impulsos sensitivos, como os relacionados com a dor, temperatura c o tato protopático, são interpretados já em nível talâmico. Entretanto, a sensibilidade talâmica, ao contrário da cortical, não é discriminativa e não permite, por exemplo, o reconhecimento da forma e do tamanho dc um objeto pelo tato (estereognosia);

b) *com a motricidade* — através dos núcleos ventral anterior e ventral lateral, interpostos, respectivamente, em circuitos pálido-corticais e cerebelo-corticais;

C) *com o comportamento emocional* — através dos núcleos do grupo anterior, integrantes do sistema límbico e do núcleo dorsomedial com suas conexões com a área pré-frontal.

d) *com a ativação do córtex* — através dos núcleos talâmicos inespecíficos e suas conexões com o sistema ativador reticular ascendente.

Afecções do tálamo decorrentes, cm geral, de lesões de alguns vasos resultam na chamada *síndrome talâmica*, na qual se manifestam dramáticas alterações da sensibilidade. Uma delas

é o aparecimento de crises da chamada *dor central*, dor espontânea e pouco localizada, que freqüentemente se irradia a toda metade do corpo situada do lado oposto ao tálamo comprometido. Apesar de ser mais difícil desencadear qualquer manifestação sensorial, uma vez que o limiar de excitabilidade está aumentado, certos estímulos térmicos ou táteis desencadeiam sensações desproporcionalmente intensas, geralmente muito desagradáveis e não facilmente caracterizadas pelo doente. Há casos em que até mesmo estímulos auditivos se tornam desagradáveis, citando-se o caso de um paciente que não podia ir à igreja porque os hinos religiosos que lá ouvia causavam sensações pouco definidas, mas muito desagradáveis, na metade do corpo situada do lado oposto ao tálamo lesado. A fisiopatologia das alterações da sensibilidade na síndrome talâmica não está completamente esclarecida.

Capítulo 26

Estrutura e Funções dos Núcleos da Base e do Centro Branco Medular do Cérebro

A — NÚCLEOS DA BASE

1.0 — GENERALIDADES

Tradicionalmente, os núcleos da base são: *claustrum, corpo amigdalóide, núcleo caudado, putâmen* e *globo pálido.* Juntos, os três últimos constituem o *corpo estriado.* Estudos mais recentes, entretanto, permitem incluir entre os núcleos da base pelo menos mais duas estruturas: o *núcleo basal de Meynert* e o *núcleo accumbens,* este último integrando o chamado *corpo estriado ventral.* Alguns autores incluem também entre os núcleos da base a substância negra e o subtálamo, que, neste livro, são tratados como pertencendo respectivamente ao tronco encefálico e ao diencéfalo. A disposição anatômica dos núcleos da base, suas relações com o tálamo e a cápsula interna foram estudadas no Capítulo 8, item 5.1 e são mostradas nas Figs. 26.1 e 26.2.

O *claustrum,* situado entre o putâmen e o córtex da insula (Fig. 26.2), tem função desconhecida. O corpo amigdalóide é um importante componente do sistema límbico c será estudado a propósito desse sistema (Capítulo 2X, item 6.3.2). O núcleo basal de Meynert será estudado no item 3.0. e os núcleos que constituem o corpo estriado, logo a seguir.

2.0 — CORPO ESTRIADO

2.1 — ORGANIZAÇÃO GERAL

Tradicionalmente, o corpo estriado é constituído pelo *núcleo caudado, putâmen* e *globo pálido.* Estes dois últimos núcleos constituem o *núcleo lentiforme.* Em quase toda sua extensão, o núcleo caudado é separado do núcleo lentiforme pela cápsula interna, sendo, entretanto, unido a ele em sua parte anterior. Essas relações são vistas nas Figs. 26.1, 26.2 e 32.12. Embora 0 putâmen seja topograficamente mais ligado ao globo pálido, do ponto de vista filogenético, estrutural e funcional, suas afinidades são com o núcleo caudado. Assim, pode-se dividir o corpo estriado em uma parte recente, *neoestriado,* ou simplesmente *striatum,* que compreende o putâmen e o núcleo caudado, e uma parte antiga, *paleoestriado,* ou *pallidum,* constituída pelo globo pálido.

Existem muitas fibras ligando o núcleo caudado e o putâmen ao globo pálido, e são elas que, ao convergirem para o globo pálido, lhe dão cor mais pálida nas preparações não-coradas. De um modo geral, os impulsos aferentes do corpo estriado chegam ao neoestriado, passam ao paleoestriado, ou seja, ao globo pálido, de onde sai a maioria das fibras eferentes do corpo estriado. A esse esquema tradicional do corpo estriado, veio juntar-se, mais recentemente, o conceito de *corpo estriado ventral* constituído de extensões ventrais do *striatum* e do *pallidum* que apresentam características histológicas e hodológicas bastante semelhantes a seus correspondentes dorsais. Uma diferença, entretanto, é que as estruturas do corpo estriado ventral têm conexões com áreas corticais do sistema límbico e, desse modo, participam da regulação do comportamento emocional enquanto as estruturas dorsais do corpo estriado são fundamentalmente motoras somáticas. O

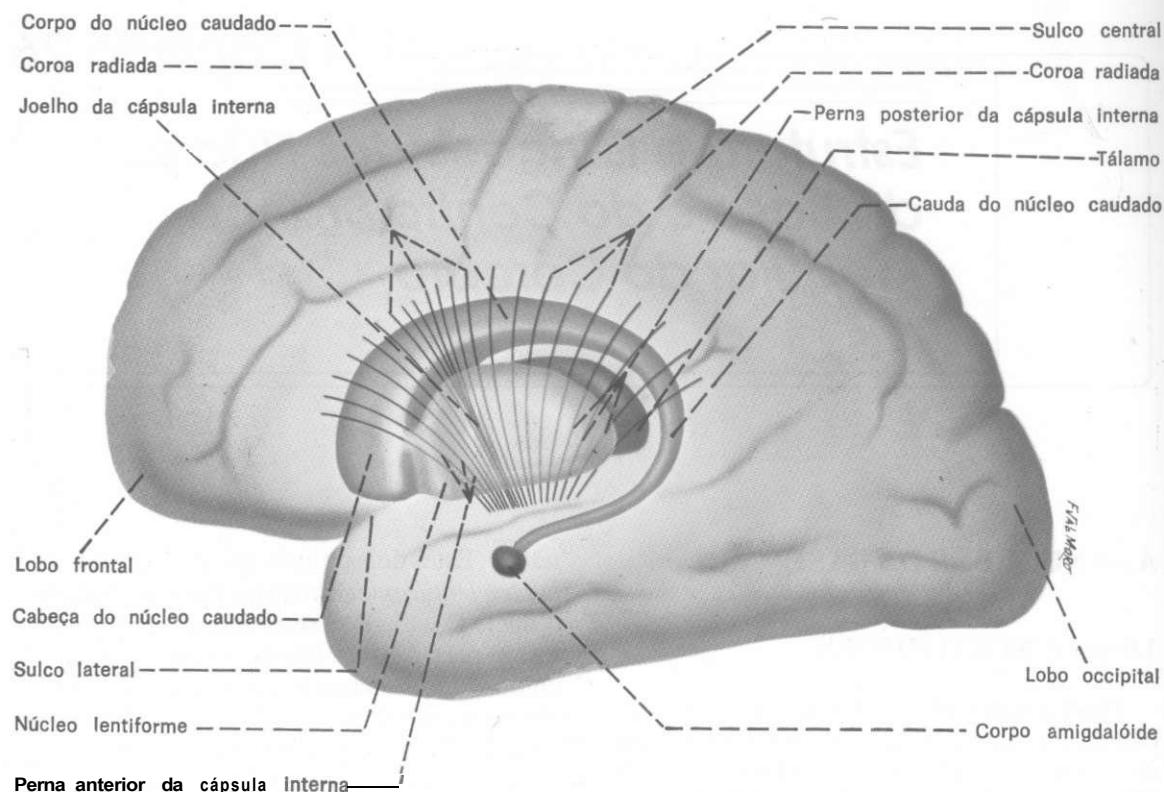



Fig. 26.1 — Núcleos da base, tálamo, cápsula interna e coroa radiada em vista lateral no interior de um hemisfério cerebral.

striatum ventral tem como principal componente o *núcleo accumbens*, situado na união entre o putâmen e a cabeça do núcleo caudado (Fig. 32.12). O *pálido ventral* é mostrado na Fig. 26.3, logo abaixo das fibras da comissura anterior.

2.2 — CONEXÕES

As conexões do corpo estriado são muito complexas. Nós as estudaremos de maneira simplificada, numa abordagem mais moderna que enfatiza os circuitos e não as conexões das partes isoladamente. Sabe-se hoje que as funções do corpo estriado são exercidas através de um *circuito básico* que o liga ao córtex cerebral, o qual, por sua vez, é modulado ou modificado por *circuitos subsidiários* ou satélites que a ele se ligam.

2.2.1 — Circuito Básico

Esse circuito origina-se no córtex cerebral e, através das *fibras córtico-estriatais,* liga-se ao *striatum,* de onde os impulsos nervosos passam ao globo pálido. Este, por sua vez, através das ***fibras** pálido-talâmicas,* liga-se aos núcleos ventral anterior e ventral lateral (VA e VL) do tálamo, os quais se projetam para o córtex cerebral. Fecha-se assim o circuito em alça *córtico-estriado-tálamo-cortical,* considerado o circuito básico do corpo estriado.

Neste circuito, as fibras córtico-estriatais originam-se em virtualmente todas as áreas do córtex cerebral, enquanto as fibras tálamo-corticais convergem para a área motora*, onde tem origem o tracto córtico-espinhal. Tem-se assim um mecanismo através do qual informações originadas em áreas diversas do córtex cerebral são processadas no corpo estriado e influenciam a atividade motora somática através do tracto córtico-espinhal. Esse circuito básico assemelha-se bastante àquele que a zona lateral do cerebelo mantém com o córtex cerebral e admite-se que, como este, tenha função impor-

* *Na realidade, essas fibras convergem para a chamada área motora suplementar do córtex (capítulo 27, item 6.1.2.1) que, por sua vez, se liga à área motora.*

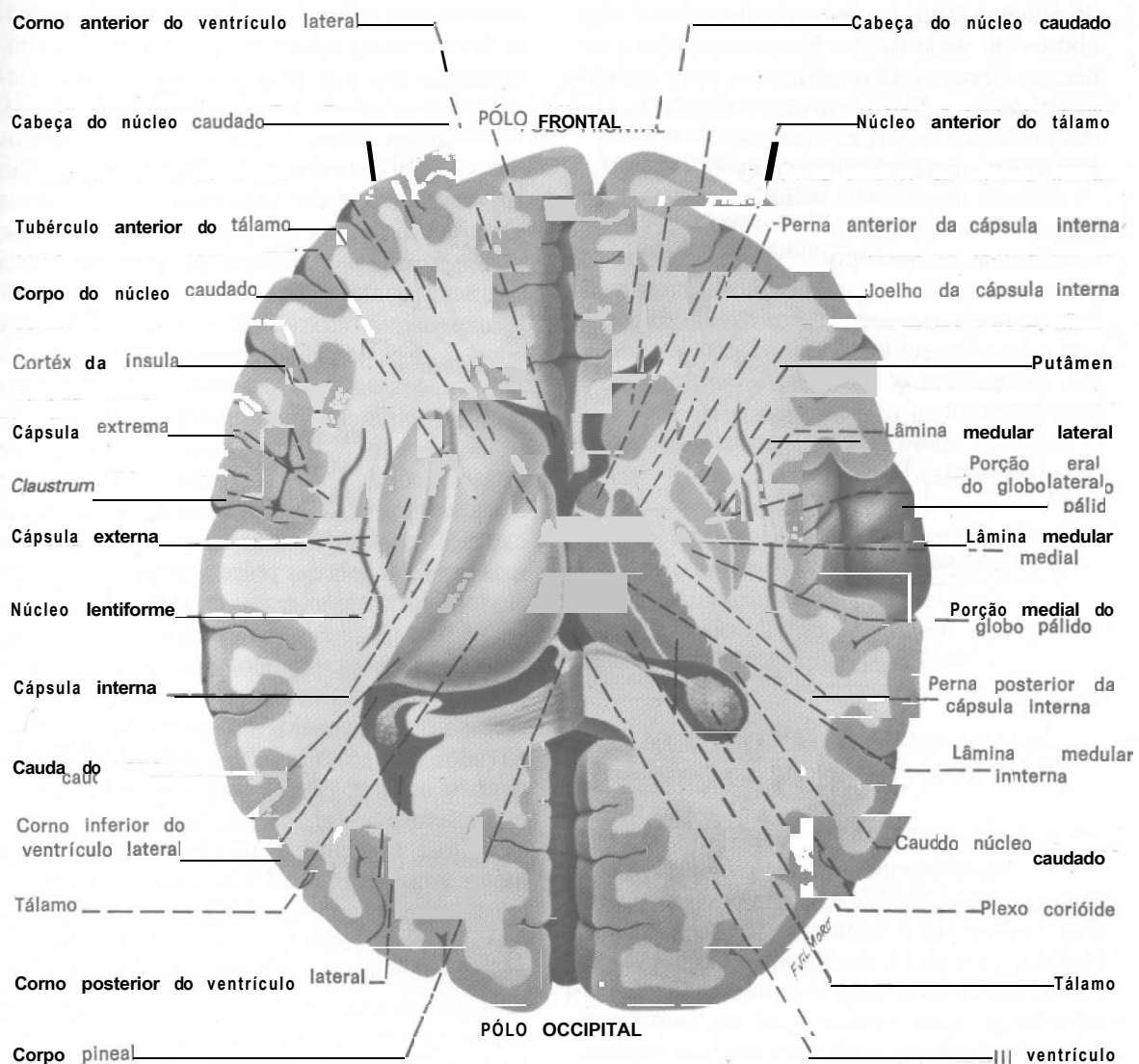



Fig. 26.2 — *Núcleos da base e tálamo em representação tridimensional (lado esquerdo) e em corte (lado direito). Compare com a Fig. 26.3, onde foram mantidas as mesmas cores.*

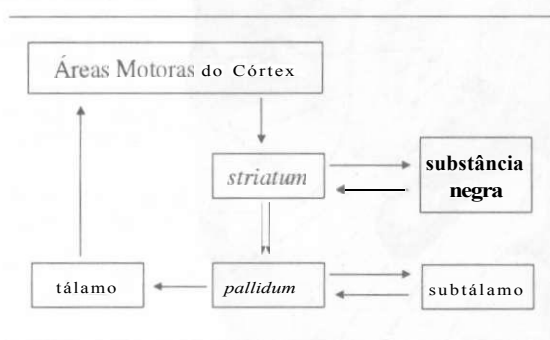
tante no planejamento motor. Há evidência de que, além desse mecanismo puramente motor, existe um outro através do qual informações originadas em uma determinada área cortical são processadas no corpo estriado e, através do circuito básico, volta a esta mesma área*. Desse modo, o corpo estriado pode influenciar também áreas não motoras do córtex, como a área pré-frontal ligada exclusivamente a funções psíquicas (Capítulo 27, item 6.2.1).

2.2.2 — Circuitos Subsidiários

Entre os circuitos subsidiários que se ligam ao circuito básico, dois são mais importantes: os circuitos *nigro-estriato-nigral* e *pálido-subtálamo-palidal*. Através do primeiro a substância negra mantém conexões recíprocas com o *striatum*. Fato importante é que as *fibras nigro-estriatais* são dopaminérgicas e exercem ação moduladora sobre o circuito básico, fazen-

* *Segundo alguns autores (Alexander, G. E. & Crutcher, M. D. — 1990* - **Trends in Neuroscience** *13 (7):266-271), este mecanismo denominado processamento paralelo de informações seria o fundamental opondo-se ao processamento convergente para a área motora descrito acima. Entretanto, nem todos concordam com este ponto de vista. (Veja Percheron, G. & Filion, M. - 1991* - **Trends in Neuroscience** *14 (2):55-56.)*

do sinapse com os chamados neurônios espinhosos do neoestriado. Esses neurônios recebem as fibras córtico-estriatais e seus axônios constituem as *fibras estriato-palidais*. Lesões das fibras nigro-estriatais causam a *síndrome de Parkinson,* que será estudada mais adiante.

Através do circuito pálido-subtálamo-palidal, o núcleo subtalâmico é capaz de modificar a atividade do circuito básico, agindo assim sobre a motricidade somática. Uma interrupção desse circuito provocada, por exemplo, por lesão do núcleo subtalâmico causa o *hemibalismo,* doença em que há grave perturbação da atividade motora (veja Capítulo 24, item 1.0). O esquema seguinte dá uma idéia sintética dos circuitos acima descritos:

Nos vários componentes do circuito básico e seus circuitos subsidiários, interagem neurônios excitadores e inibidores* de uma maneira bastante complexa, resultando no final — na conexão tálamo-cortical — uma ação excitadora sobre as áreas corticais motoras, importante na regulação dos movimentos que aí se iniciam.

2.3 — CONSIDERAÇÕES FUNCIONAIS E CLÍNICAS

Em 1817, o médico inglês James Parkinson descreveu a doença que hoje tem seu nome, cujos principais sintomas são tremores, aumento do tônus e dificuldade para se dar início aos movimentos voluntários. Quadros clínicos desse tipo, caracterizados principalmente por movimentos involuntários, têm sido consistentemente associados a lesões dos núcleos da base. Como esses núcleos eram — e para muitos ainda continuam a ser — considerados como constituindo parte central do chamado 'sistema extrapiramidal', os quadros clínicos descritos, ou *síndromes dos núcleos da base*, são ainda freqüentemente denominados *síndromes extrapiramidais.* A existência dessas síndromes constitui o principal argumento de que a função dos núcleos da base, ou melhor, do corpo estriado, é essencialmente motora. Sabe-se hoje que o corpo estriado agindo sobre as áreas motoras do córtex através do circuito básico que descrevemos exerce influência não só sobre a execução do movimento voluntário já iniciado, mas também sobre o próprio planejamento do ato motor. Para isso, acredita-se que são importantes suas projeções para a área motora suplementar do córtex, também envolvida no planejamento motor. Coerente com essas funções, sabe-se que neurônios do corpo estriado são ativados não só durante os movimentos, mas também antes de eles se iniciarem. É fácil notar o paralelo que existe entre o papel do corpo estriado e do cerebelo na organização do ato motor voluntário, o qual se reflete também na existência em ambos de um circuito fechado que os une ao córtex cerebral. Entretanto, os mecanismos através do qual esses dois órgãos influenciam a motricidade são muito mais bem conhecidos no caso do cerebelo do que no dos núcleos da base, em que pese a intensa atividade de pesquisa que tem havido sobre estes últimos.

O conhecimento dos sintomas que ocorrem nas diversas síndromes clínicas resultantes das lesões do corpo estriado ajuda a entender seu papel no controle motor. Essas síndromes são descritas de maneira sumária a seguir:

a) *doença de Parkinson* — também chamada de parkinsonismo, aparece geralmente depois dos 50 anos e caracteriza-se por três sintomas básicos: tremor, rigidez e oligocinesia. O *tremor* manifesta-se nas extremidades quando elas estão paradas e desaparece com o movimento. A *rigidez* resulta dc uma hipertonia de toda a musculatura esquelética. A *oligocinesia* manifesta-se por uma lentidão e redução da atividade motora espontânea, na ausência de paralisia. Há também uma grande dificuldade para se dar

* *As fibras córtico-estriatais são excitadoras c liberam glutamato. As fibras estriato-palidais são inibidoras, gabaérgicas, assim como as pálido-talâmicas. Já as fibras tálamo-corticais são excitadoras. mas o neurotransmissor ainda é desconhecido. Numerosos neuropeptídeos coexistem como cotransmissores com os neurônios gabaérgicos. O* striatum *contém também interneurônios colinérgicos com atividade moduladora sobre o circuito básico. Para mais detalhes sobre o assunto, veja Alexander, G.E. & Crutcher, M.D. — 1990 — op. cit.*

início aos movimentos. Verificou-se que na doença de Parkinson a lesão geralmente está na substância negra, resultando em diminuição de dopamina nas fibras nigro-estriatais. Desse modo, cessa a atividade moduladora que essas fibras exercem sobre o circuito motor básico, ao nível do neoestriado. A descoberta desse fato inspirou a moderna terapêutica da doença de Parkinson, que visa aumentar o teor dc dopamina nas fibras nigro-estriatais. Tentativas para se obter esse resultado através da administração de dopamina não obtiveram sucesso, pois essa amina só atravessa a barreira hemoencefálica em concentrações muito altas e tóxicas para o restante do organismo. Verificou-se, entretanto, que o isômero levógero da diidroxifenilalanina (L-Dopa) atravessa a barreira, é captado pelos neurônios e fibras dopaminérgicas da substância negra c transformado em dopamina, o que causa melhora dos sintomas da doença de Parkinson, em especial da oligocinesia:

b) *coréia* (termo dc origem grega que significa dança) — caracteriza-se por movimentos involuntários rápidos e de grande amplitude, que lembram uma dança;

c) *atetose* — manifesta-se por movimentos involuntários lentos c sinuosos, especialmente dos antebraços c mãos, lembrando os movimentos dc um verme*;

d) *hemibalismo* — caracteriza-se por movimentos involuntários violentos de uma das extremidades, que, nos casos mais graves, não desaparecem nem com o sono, podendo levar o doente à exaustão. Resulta quase sempre de lesão vascular do núcleo subtalâmico. o que interrompe a atividade moduladora desse núcleo sobre o globo pálido.

Cabe assinalar que alguns quadros hipercinéticos, que ocorrem nas síndromes do corpo estriado, podem ser revertidos por lesões do globo pálido ou dos núcleos ventral anterior e ventral lateral do tálamo. Na realidade, a lesão estereotáxica do globo pálido ou desses núcleos tem sido usada no tratamento dos tremores observados na doença de Parkinson, principalmente quando falha o tratamento clínico com L-Dopa.

Existem várias teorias e modelos tentando explicar os mecanismos através dos quais lesões do corpo estriado c dos núcleos com ele relacionados causam os sintomas observados nas síndromes 'extrapiramidais'. É fácil perceber na descrição dos quadros clínicos feita aqui que esses sintomas são dc dois tipos: *hipercinéticos* e *hipocinéticos*, em que ocorrem, respectivamente, aumento c diminuição da atividade motora mediada pelo córtex. Sabe-se que, nos primeiros, há um aumento exagerado e, nos segundos, uma diminuição da atividade excitadora que o circuito básico do corpo estriado exerce sobre a área motora do córtex cerebral c que a atinge pela parte final desse circuito, ou seja, as fibras tálamo-corticais. Segundo o modelo, mais atual, proposto por DeLong, mudanças operacionais no circuito básico estriado-tálamo-cortical levariam a uma excessiva inibição ou, no outro extremo, a uma desinibição do tálamo. resultando respectivamente nos quadros hipo e hipercinéticos**.

3.0 — NÚCLEO BASAL DE MEYNERT. DOENÇA DE ALZHEIMER

O *núcleo basal de Meynert* é constituído dc um conjunto dc neurônios colinérgicos grandes, situado na chamada *substância inominata* que ocupa o espaço entre o globo pálido e a superfície ventral do hemisfério cerebral (Fig. 26.3). Recebe fibras de várias áreas do sistema límbico e dá origem à quase totalidade das fibras colinérgicas do córtex, que dele se projetam a praticamente todas as áreas corticais. Na última década, o núcleo basal dc Meynert passou a despertar grande interesse com a descoberta de que, na doença dc Alzheimer, seus neurônios degeneram, resultando na depleção da acetileolina no córtex cerebral. Nessa doença, também chamada *demência pré-senil*, ocorre uma perda progressiva da memória e do raciocínio abstrato. Nas fases mais avançadas da doença, cuja progressão é geralmente muito lenta, o paciente se torna incapaz dc reconhecer até mesmo as pessoas mais íntimas se há uma total deterioração das funções psíquicas. O núcleo basal dc

* *A localização das lesões na coréia e na atetose é ainda controvertida. Entretanto, alguns dados indicam que, no caso da coréia, a lesão estaria nas fibras gabaérgicas que ligam o putâmen à parte lateral do globo pálido.*

** *Para mais detalhes sobre esse modelo, que é muito mais complexo do que parece pelo exposto acima, veja DeLong, M.R. — 1990 — "Primate models of movement disorders of ganglia". Trends in Neurosciences 13: (7) 281-285.*

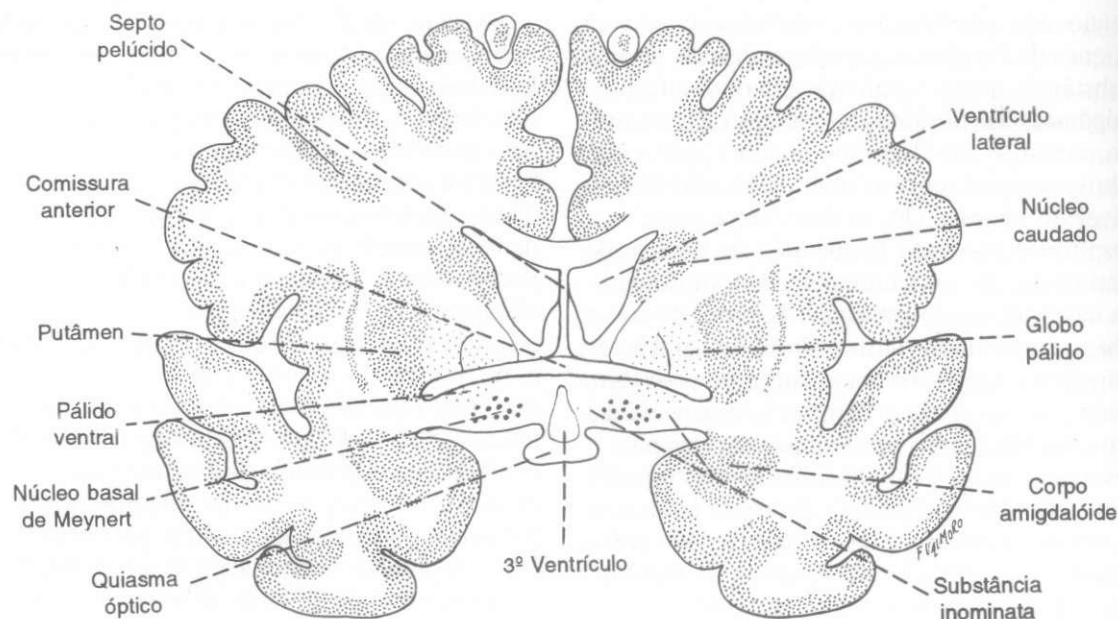



Fig. 26.3 — *Corte frontal do cérebro passando pela comissura anterior. Notam-se as estruturas do corpo estriado e o núcleo basal de Meynert, situado na substância inominata.*

Meynert, através de suas conexões com o sistema límbico e com o córtex cerebral, parece pois ter um importante papel relacionado com a memória e com as funções psíquicas superiores. Coerente com este papel, sabe-se que seu tamanho aumenta progressivamente na escala filogenética, alcançando seu maior desenvolvimento nos primatas e especialmente no homem.

B — CENTRO BRANCO MEDULAR DO CÉREBRO

1.0 — GENERALIDADES

Em um corte horizontal do cérebro, o centro branco medular aparece como uma área de substância branca de forma oval, o que lhe valeu também, para cada hemisfério, o nome de *centro semi-oval* (Fig. 32.17). Este centro é constituído de fibras mielínicas, que podem ser classificadas em dois grandes grupos: ***fibras de projeção*** e ***fibras de associação.*** As primeiras ligam o córtex a centros subcorticais, as segundas ligam áreas corticais situadas em pontos diferentes do cérebro. Estas últimas podem, por sua vez, ser divididas em ***fibras de associação*** *intra-hemisféricas* e ***fibras de associação*** *inter-hemisféricas,* conforme associem áreas dentro de um mesmo hemisfério ou entro dois hemisférios.

2.0 — FIBRAS DE ASSOCIAÇÃO INTRA-HEMISFÉRICAS (Figs. 26.4, 26.5)

Conforme o seu tamanho, classificam-se em curtas e longas. As curtas associam áreas vizinhas do córtex como, por exemplo, dois giros passando nesse caso pelo fundo do sulco. São também chamadas, devido à sua disposição, ***fibras arqueadas do cérebro*** ou ***fibras em U*** (Fig. 26.5).

As fibras de associação intra-hemisféricas longas unem-se era fascículos, sendo mais importantes os seguintes:

a) ***fascículo do cíngulo*** — percorre o giro dc mesmo nome, unindo o lobo frontal ao temporal, passando pelo lobo parietal (Fig. 26.5);

b) ***fascículo longitudinal superior*** — também denominado ***fascículo arqueado,*** figa os lobos frontal, parietal e occipital pela face súpero-lateral de cada hemisfério (Fig. 26.4);

c) ***fascículo longitudinal inferior*** — une o lobo occipital ao lobo temporal (Fig. 26.5);

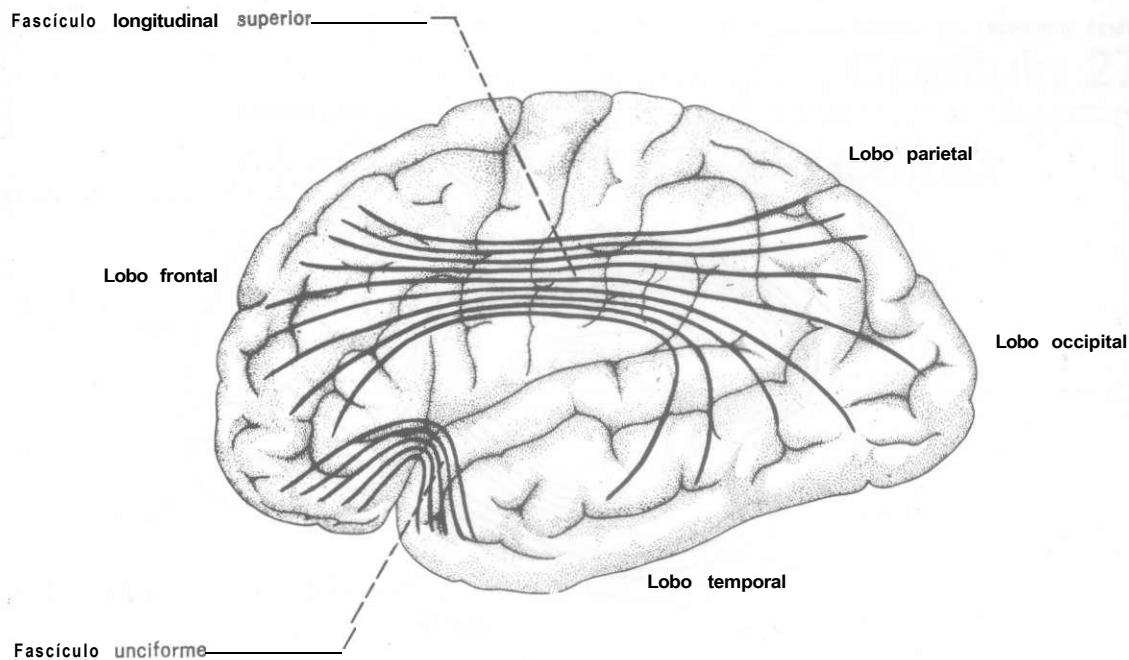



Fig. 26.4 — Fascículos de associação na face súpero-lateral do cérebro.

d) *fascículo unciforme* — liga o lobo frontal ao temporal, passando pelo fundo do sulco lateral (Fig. 26.4).

Convém acentuar que a significação funcional de quase todos esses fascículos é pouco conhecida. Sabe-se, entretanto, que o fascículo longitudinal superior, ou fascículo arqueado, tem um papel importante na linguagem na medida em que estabelece conexão entre os centros anterior e posterior da linguagem, situados, respectivamente, no lobo frontal e na junção dos lobos temporal e parietal (veja Capítulo 27, item 8.0). Lesões desse fascículo causam graves perturbações da linguagem.

3.0 — FIBRAS DE ASSOCIAÇÃO INTER-HEMISFÉRICAS

São também chamadas *fibras comissurais*, pois fazem a união entre áreas simétricas dos dois hemisférios. Essas fibras agrupam-se para formar as três comissuras do telencéfalo, ou seja, comissura do fórnix, comissura anterior e corpo caloso:

a) *comissura do fórnix* — pouco desenvolvida no homem, essa comissura é formada por fibras que se dispõem entre as duas pernas do fórnix (Fig. 8.8) e estabelecem conexão entre os dois hipocampos (arquicórtex);

b) *comissura anterior* — tem uma porção olfatória que liga os bulbos e tractos olfatórios, e uma porção não olfatória que estabelece união entre os lobos temporais. A posição da comissura anterior é mostrada nas Figs. 8.4 e 31.13;

c) *corpo caloso* — a maior das comissuras telencefálicas e também o maior feixe de fibras do sistema nervoso. Estabelece conexão entre áreas corticais simétricas dos dois hemisférios, com exceção daquelas do lobo temporal, que são unidas principalmente pelas fibras da comissura anterior. O corpo caloso permite a transferência de conhecimentos e informações de um hemisfério para o outro, fazendo com que eles funcionem harmonicamente. Em animais com secção experimental do corpo caloso, pode-se ensinar tarefas diferentes, ou mesmo antagônicas, a cada um dos hemisférios que, nesse caso, funcionam independentes um do outro. Secções do corpo caloso feitas no homem com o objetivo de melhorar certos quadros rebeldes de epilepsia não causam alterações evidentes do comportamento ou do psiquismo. Entretanto, testes especializados

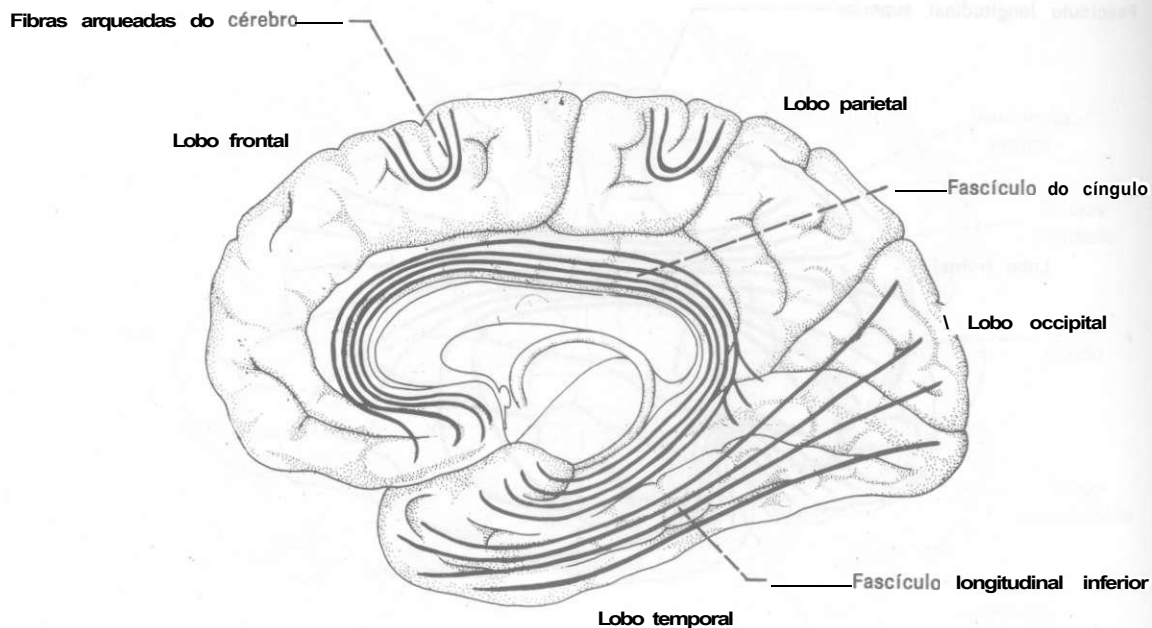



Fig. 26.5 — *Fascículos dc associação na face medial do cérebro.*

revelam que, nesses casos, não há transferência de informações dc um hemisfério para o outro (veja Capítulo 27, item 9.0).

4.0 — FIBRAS DE PROJEÇÃO

Estas fibras agrupam-se para formar o fórnix e a cápsula interna. O fórnix liga o hipocampo aos núcleos mamilares do hipotálamo, integrando o circuito de Papez (Fig. 28.1), parte do sistema límbico.

A ***cápsula interna*** (Figs. 26.1, 26.2, 30.2) é um grande feixe de fibras que separa o tálamo, situado medialmente, do núcleo lentiforme, situado lateralmente. Acima do núcleo lentiforme, a cápsula interna continua com a ***coroa radiada***; abaixo, com a base do pedúnculo cerebral (Fig. 30.2). Distinguem-se na cápsula interna três partes (Fig. 26.2): a ***perna anterior,*** situada entre a cabeça do núcleo caudado e o núcleo lentiforme, a ***perna posterior,*** situada entre o tálamo e o núcleo lentiforme, e o ***joelho,*** situado no ângulo entre essas duas partes.

A cápsula interna é uma formação muito importante porque por ela passa a maioria das fibras que saem ou que entram no córtex cerebral. Entre as fibras originadas no córtex e, por conseguinte, descendentes, temos os tractos ***córtico-espinhal, córtico-nuclear*** e ***córtico-pontino,*** além das ***fibras córtico-reticulares, córtico-rubras*** e ***córtico-estriatais.*** As fibras que passam na cápsula interna e se dirigem ao córtex vêm do tálamo, sendo, pois, denominadas ***radiações.*** Entre estas temos as ***radiações óptica*** e ***auditiva.*** Estas fibras não estão misturadas e têm posições bem definidas na cápsula interna, podendo, pois, ser lesadas separadamente, o que determina quadros clínicos diferentes. Assim, as fibras do tracto córtico-nuclear ocupam o joelho da cápsula interna, sendo seguidas, já na perna posterior, das fibras do tracto córtico-espinhal* e das radiações talâmicas que levam ao córtex a seasibilidade somática geral. As radiações óptica e auditiva também passam na perna posterior da cápsula interna, mas na porção situada abaixo do núcleo lentiforme (porção sublentiforme da cápsula interna).

Lesões da cápsula interna decorrentes de hemorragias ou obstruções de seus vasos ocorrem com bastante freqüência, constituindo os chamados "derrames cerebrais" que geralmente causam hemiplegia e diminuição da seasibilidade na metade oposta do corpo.

* *Para mais detalhes sobre a localização do tracto córtico-espinhal na cápsula interna no homem, veja Kretscham— 1988* — Journal of Anatomy *160:219-225.*

Capítulo 27

Estrutura e Funções do Córtex Cerebral

1.0 — GENERALIDADES

Córtex cerebral é a fina camada de substância cinzenta que reveste o centro branco medular do cérebro. Trata-se de uma das partes mais importantes do sistema nervoso. No córtex cerebral chegam impulsos provenientes de todas as vias da sensibilidade que aí se tornam conscientes e são interpretadas. Do córtex saem os impulsos nervosos que iniciam e comandam os movimentos voluntários e com ele estão relacionados os fenômenos psíquicos. Durante a evolução, a extensão e complexidade do córtex aumentaram progressivamente, atingindo maior desenvolvimento na espécie humana, o que pode ser correlacionado com o grande desenvolvimento das funções intelectuais nesta espécie.

2.0 — CITOARQUITETURA DO CÓRTEX

No córtex cerebral existem neurônios, células neurogliais e fibras. As células da neuróglia cortical não têm nenhuma característica especial. Os neurônios e as fibras distribuem-se de vários modos, em várias camadas, sendo a estrutura do córtex cerebral muito complexa e heterogênea. Nisto difere, pois, do córtex cerebelar, que tem uma organização estrutural mais simples e uniforme em todas as áreas.

Quanto à sua estrutura, distinguem-se dois tipos de córtex: *isocórtex* e *alocórtex*. No isocórtex existem seis camadas, o que não ocorre no alocórtex. Estudaremos apenas a estrutura do isocórtex, que constitui a grande maioria das áreas corticais. São as seguintes as seis camadas do córtex, numeradas da superfície para o interior (Fig. 27.1):

I — camada molecular
II — camada granular externa
III — camada piramidal externa
IV — camada granular interna
V — camada piramidal interna (ou ganglionar)
VI — camada de células fusiformes (ou multiforme)

A camada molecular, situada na superfície do córtex, é rica em fibras de direção horizontal e contém poucos neurônios, destacando-se as chamadas células horizontais (de Cajal). Nas demais camadas predomina o tipo de neurônio que lhe dá o nome. Na chave seguinte, os diversos tipos de neurônios corticais são classificados de acordo com o tamanho e direção de seu axônio.

a) *células granulares* — Também chamadas *células estreladas,* possuem dendritos que se ramificam próximo ao corpo celular e um axônio que pode estabelecer

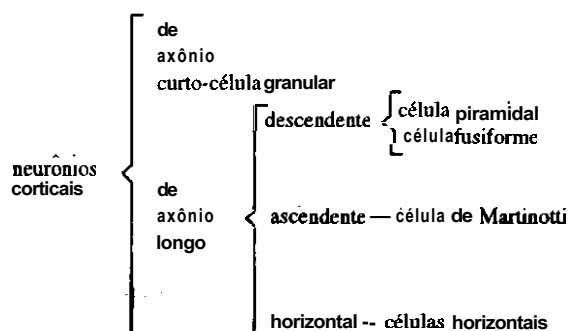
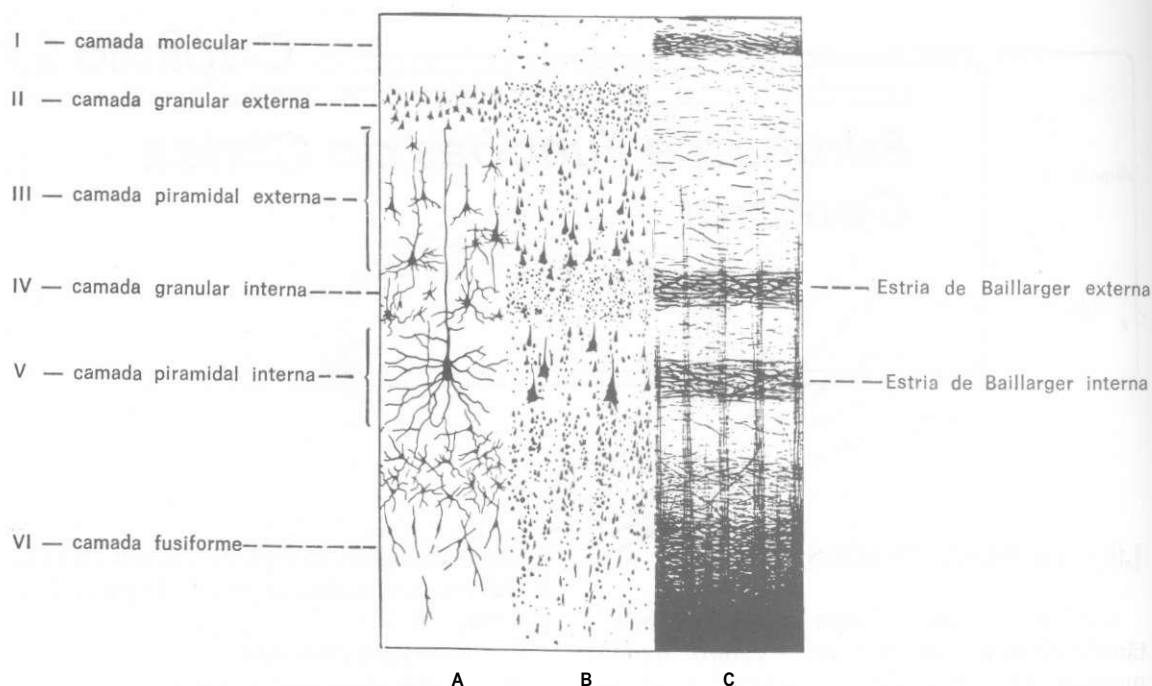



Fig. 27.1 — *Representaçâsemi-esquemáticdas camadas corticais como apara m em preparações histológicacoradospelo método de Golgi para OS prolongamentos neuronais (A), métodode Nissl para os corpos dos neurônios(R) e métododc Weigert parafibras mielínicas (C). (Segundo fírodmann.)*

conexões com células das camadas vizinhas. O número de células granulares aumentou progressivamente durante a filogênese, sendo muito grande no homem. Admite-se que este aumento possibilitou a existência de circuitos corticais mais complexos. Com efeito, a célula granular é o principal interneurônio cortical, ou seja, ela estabelece conexão entre os demais neurônios e fibras do córtex. Por outro lado, admite-se que a maioria das fibras que chegam ao córtex estabelecem sinapse com as células granulares, que são, assim, as principais células receptoras do córtex cerebral. As células granulares existem em todas as camadas, mas predominam nas *camadas granular interna* c *externa* (Fig. 27.1);

b) *células piramidais ou pirâmides* — recebem este nome devido à forma piramidal do corpo celular. Conforme o tamanho do corpo celular, podem ser pequenas, médias, grandes ou gigantes. As células piramidais gigantes são denominadas *células de fietz* e ocorrem apenas na área motora situada no giro pré-central. As células piramidais possuem dois tipos dc dendritos. apicais e basais. O *dendrito apical* destaca-se do ápice de pirâmide, dirige-se às camadas mais superficiais, onde termina. Os *dendritos basais*, muito mais curtos, distribuem-se próximo ao corpo celular. O axônio das células piramidais tem direção descendente e, em geral, ganha a substância branca como fibra eferente do córtex, por exemplo, as fibras que constituem o tracto córtico-espinhal. As pirâmides existem em todas as camadas, predominando, entretanto, nas camadas *piramidal externa* e *interna* (Fig. 27.1), que são consideradas camadas predominantemente efetuadoras;

c) *células fusifonnes* — possuem um axônio descendente que penetra no centro branco-medular, sendo, pois, células efetuadoras. Predominam na VI camada, ou camada de células fusifonnes (Fig. 27.1);

d) *células de Martinotti* — possuem dendritos que sc ramificam nas proximidades do corpo celular e um axônio de direção ascendente que se ramifica nas camadas mais superficiais;

e) *células horizontais (de Cajal)* — de forma fusiforme, possuem dendritos e axônios de direção horizontal. Localizam-se exclusivamente na *camada molecular* (Fig. 27.1) e são células intracorticais de associação.

3.0 — FIBRAS E CIRCUITOS CORTICAIS

As fibras que saem ou que entram no córtex cerebral passam, necessariamente, pelo centro branco-medular. Como já foi exposto no capítulo anterior, estas fibras podem ser de associação ou de projeção. As primeiras ligam áreas diferentes do córtex cerebral, no mesmo hemisfério ou no hemisfério situado do lado oposto (fibras comissurais); as segundas, ou seja as fibras de projeção ligam o córtex a centros subcorticais, podendo ser aferentes ou eferentes.

As fibras de projeção aferentes do córtex cerebral podem ter origem talâmica ou extratalâmica. Estas últimas são fibras monoaminérgicas originadas na formação reticular ou fibras colinérgicas oriundas do núcleo basal de Meynert. As fibras extratalâmicas distribuem-se a todo o córtex cerebral, mas seu modo de terminação não é uniforme, variando com o tipo de fibra e com a área cortical. Este fato indica que elas não exercem uma ação generalizada de excitação ou inibição do córtex, mas provavelmente aumentam ou diminuem a atividade em regiões corticais específicas durante determinadas etapas do processamento da informação*. Sua ação sobre o córtex é geralmente considerada como moduladora, ou seja, elas modificam as características eletrofisiológicas das células corticais, influenciando assim o seu funcionamento. Embora o significado funcional dessas fibras seja pouco conhecido, pelo menos no caso das fibras colinérgicas, esta função pode ser muito importante. Assim, a degeneração dessas fibras, como ocorre na doença de Alzheimer, associa-se a uma completa deterioração das funções corticais. As fibras aferentes oriundas dos núcleos talâmicos inespecíficos também se distribuem a todo o córtex, sobre o qual exercem ação ativadora, como parte do sistema ativador reticular ascendente (SARA). Estas fibras terminam em todas as camadas corticais, mas principalmente nas três camadas superficiais. Já as radiações talâmicas originadas nos núcleos específicos terminam na camada IV, granular interna. Esta camada é, pois, muito desenvolvida nas áreas sensitivas do córtex.

A grande maioria das *fibras de projeção aferentes* do isocórtex origina-se no tálamo. Admite-se, entretanto, a existência de conexões aferentes diretas com a formação reticular. As radiações talâmicas originadas nos núcleos talâmicos específicos terminam na camada IV, granular interna. Esta camada é, pois, muito desenvolvida nas áreas sensitivas do córtex. Admite-se que os impulsos originados nos núcleos talâmicos inespecíficos e que exercem uma ação ativadora sobre o córtex terminam em todas as camadas, mas principalmente nas três camadas superficiais.

As *fibras de projeção eferentes* do córtex estabelecem conexões com vários centros subcorticais, destacando-se as seguintes fibras, todas já referidas nos capítulos anteriores:

a) *fibras córtico-espinhais*
b) *fibras córtico-nucleares*
c) *fibras córtico-pontinas*
d) *fibras córtico-estriadas*
e) *fibras córtico-reticulares*
0 *fibras córtico-rúbricas*
g) *fibras córtico-talâmicas*

Admite-se que a grande maioria destas fibras origina-se na camada V, piramidal interna, e são axônios das células piramidais aí localizadas. A camada V é, pois, muito desenvolvida nas áreas motoras do córtex. Em síntese, a camada IV é a camada receptora de projeção e a camada V, efetuadora dc projeção. As demais camadas corticais são predominantemente de associação.

Quando se cora o córtex cerebral com técnicas para mielina, verifica-se que um grande número de fibras intracorticais são miclínicas (Fig. 27.1C). Estas fibras não se distribuem homogeneamente, mas agrupam-se em raias, de direção perpendicular à superfície, e estrias, de direção paralela â superfície. As duas estrias mais evidentes são as estrias de *Baillarger externa e interna,* mostradas na Fig. 27.1C. Na área visual, situada no sulco calcarino, a estria de Baillarger externa é muito desenvolvida e pode ser vista a olho nu, mesmo nas preparações não coradas (Fig. 8.8), e recebe o nome especial de *estria de Gennari.* Devido à presença desta

---

* *Para uma revisão sobre este assunto, veja Foote, S.L & Morrison J. H. — 1987 —* **Ann. Rev.** Neurosciences *10:67-95.*

estria, a área visual é também denominada área estriada. As raias corticais formadas por fibras perpendiculares à superfície delimitam colunas verticais formadas principalmente por células (Fig. 27.1B e C) e que atingem toda a espessura do córtex. Assim, além de uma *organização laminar horizontal,* o córtex possui, também, uma *organização colunar vertical.* Esta organização colunar encontra apoio em algumas experiências de neurofisiologia, nas quais foram introduzidos microeletrodos no córtex, registrando-se os potenciais evocados em neurônios corticais após estimulação de receptores periféricos. Verificou-se que, quando os eletrodos são introduzidos perpendicularmente à superfície, de modo a atingir neurônios situados em uma só coluna, os potenciais obtidos têm características funcionais muito semelhantes. Quando os eletrodos são introduzidos obliquamente, de modo a atingir neurônios de mais de uma coluna, os potenciais têm características diferentes. Isto indica que, funcionalmente, existe mais semelhança entre os neurônios situados dentro de uma coluna que entre colunas vizinhas. Apesar de existirem algumas conexões horizontais entre células de colunas vizinhas, especialmente na camada molecular, há evidências de que as conexões entre as células corticais se fazem preferencialmente no sentido vertical, ou seja, entre células de uma mesma coluna. Admite-se que os impulsos que chegam ao córtex passam sucessivamente das camadas superficiais às profundas e vice-versa, podendo voltar repetidas vezes à mesma célula através de circuitos reverberantes ou auto-excitadores, antes de saírem do córtex. Desde os clássicos trabalhos dc Cajal e Lorente de Nó, tem sido feito um grande número de pesquisa visando elucidar a organização interna do córtex e a natureza dos circuitos intracorticais*. Estamos, entretanto, longe de elucidar o problema, que é básico para a compreensão do funcionamento do córtex; sobre o assunto existem apenas hipóteses muito gerais. Os estudos quantitativos realizados por Cragg (1967)** com o auxílio do microscópio eletrônico dão uma idéia da extensão e da complexidade dos circuitos intracorticais. No córtex motor do macaco este autor encontrou uma média de 60.000 sinapses por neurônio. Mesmo admitindo-se, como é provável, que um mesmo neurônio possa ligar-se a outro através de vários botões sinápticos, este número mostra que um mesmo neurônio cortical está sujeito à influência dc muitos outros. Assim, segundo Cragg, um só neurônio da área motora do macaco recebe influência de cerca de 600 neurônios intracorticais. Sabendo-se que o número total de neurônios corticais é de cerca de 14 bilhões (von Economo e Koskinas, 1923), entende-se que os caminhos que podem seguir os impulsos intracorticais variam de uma maneira quase ilimitada o que torna praticamente impossível a existência de dois indivíduos com exatamente os mesmos circuitos corticais. O córtex, especialmente do homem, é possivelmente a estrutura mais complicada do mundo biológico, o que está de acordo com a complexidade das funções que dele dependem.

4.0 — CLASSIFICAÇÃO DAS ÁREAS CORTICAIS

O córtex cerebral não é homogêneo em toda sua extensão, permitindo a individualização de várias áreas, o que pode ser feito com critérios anatômicos, filogenéticos, estruturais e funcionais.

4.1 — CLASSIFICAÇÃO ANATÔMICA DO CÓRTEX

Baseia-se na divisão do cérebro em sulcos*** giros e lobos, já estudada a propósito da macroscopia do cérebro. Assim, temos córtex dos lobos frontal, temporal etc. A divisão anatômica em lobos não corresponde a uma divisão funcional ou estrutural, pois em um mesmo lobo temos áreas corticais de funções e estrutura muito diferentes. Faz exceção o córtex do lobo occipital, que, direta ou indiretamente, se liga aos órgãos visuais. A divisão anatômica, entretanto, é a mais empregada na prática médica para a localização de lesões corticais.

* *Para uma discussão mais minuciosa sobre este assunto, veja Szentágothai J. — 1985 —* **Anais da Academia Brasileira de Ciências** *57:249-259.*

** *Cragg, B.G. — 1967 —* **Journal of Anatomy,** *101:639-654.*

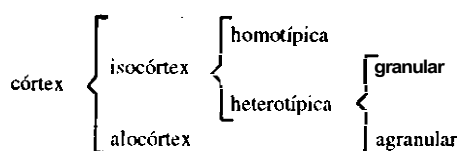
*** *Para uma discussão sobre as correlações entre os padrões de sulcos e giros, a citoarquitetura c as funções corticais, veja Welker, W.I. and Campos, G.B. — 1963 — Journal* **of Comparative Neurology,** *120:19-36.*

4.2 — CLASSIFICAÇÃO FILOGENÉTICA DO CÓRTEX

Do ponto de vista filogenético pode-se dividir o córtex cerebral em *arquicórtex, paleocórtex* e *neocórtex,* conforme já foi exposto no capítulo 8 (item 6.1). No homem, o arquicórtex está localizado no hipocampo, enquanto o paleocórtex ocupa o úncus e parte do giro para-hipocampal. Todo o resto do córtex classifica-se como neocórtex. Arqui e paleocórtex ocupam, pois, áreas corticais antigas ligadas à olfação e ao comportamento emocional, fazendo parte do rinencéfalo e do sistema límbico, como será estudado no próximo capítulo.

4.3 — CLASSIFICAÇÃO ESTRUTURAL DO CÓRTEX

O córtex cerebral tem sido objeto de meticulosas investigações histológicas, nas quais foram estudados diversos aspectos de sua estrutura, tais como a composição e característica das diversas camadas, espessura total e espessura das camadas, disposição e espessura das raias e estrias etc. Com base nestes estudos, o córtex cerebral pode ser dividido em numerosas *áreas citoarquiteturais,* havendo vários mapas de divisão. Assim, von Economo distinguiu no córtex cerebral do homem 109 áreas, enquanto o casal Vogt conseguiu identificar mais de 200 áreas. Contudo, a divisão mais aceita é a de Brodmann, que identificou 52 áreas designadas por números (Figs. 27.2 e 27.3). As áreas de Brodmann são muito conhecidas e amplamente utilizadas na clínica e na pesquisa médica.

As diversas áreas corticais podem ser classificadas em grupos maiores de acordo com suas características comuns, da maneira indicada na chave que segue:

Isocórtex é o córtex que tem seis camadas nítidas, ao menos durante o período embrionário. *Alocórtex* é o córtex que nunca, em fase alguma de seu desenvolvimento, tem seis camadas. No *isocórtex homotípico* as seis camadas corticais são sempre individualizadas com facilidade. Já no *isocórtex heterotípico* as seis camadas não podem ser claramente individualizadas no adulto, uma vez que a estrutura laminar típica encontrada na vida fetal, é mascarada pela grande quantidade de células granulares ou piramidais, que invadem as camadas II a VI. Assim, no isocórtex heterotípico *granular,* característico das áreas sensitivas, há uma enorme quantidade de células granulares que invadem, inclusive, as camadas piramidais (III e V) com um desaparecimento quase completo das células piramidais. Já no isocórtex heterotípico *agranular,* característico das áreas motoras, há considerável diminuição de células granulares e uma enorme quantidade de células piramidais que invadem, inclusive, as camadas granulares (II e IV).

O isocórtex ocupa 90% da área cortical e corresponde ao neocórtex, ou seja, ao córtex filogenicamente recente. O alocórtex ocupa áreas antigas do cérebro e corresponde ao arqui e paleocórtex.

4.4 — CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL DO CÓRTEX

Do ponto de vista funcional, as áreas corticais não são homogêneas, como se acreditava no início do século XIX. A primeira comprovação desse fato foi feita em 1861 pelo cirurgião francês Broca, que pôde correlacionar lesões em áreas restritas do lobo frontal (área de Broca) com a perda da linguagem falada. Pouco mais tarde, surgiram os trabalhos de Fritsch e Hitzig, que conseguiram provocar movimentos de certas partes do corpo por estimulações elétricas em áreas específicas do córtex do cão. Esses autores fizeram assim o primeiro mapeamento da área motora do córtex, estabelecendo pela primeira vez o conceito de *somatotopia* das áreas corticais, ou seja, de que existe correspondência entre determinadas áreas corticais e certas partes do corpo. O conceito das *localizações funcionais no córtex* sofreu um abalo quando se conseguiu causar movimento por estimulação de áreas corticais, tidas como exclusivamente sensitivas. Entretanto, a existência de localizações funcionais é geralmente aceita, e seu estudo tem grande importância não só para a compreensão do funcionamento do cérebro,

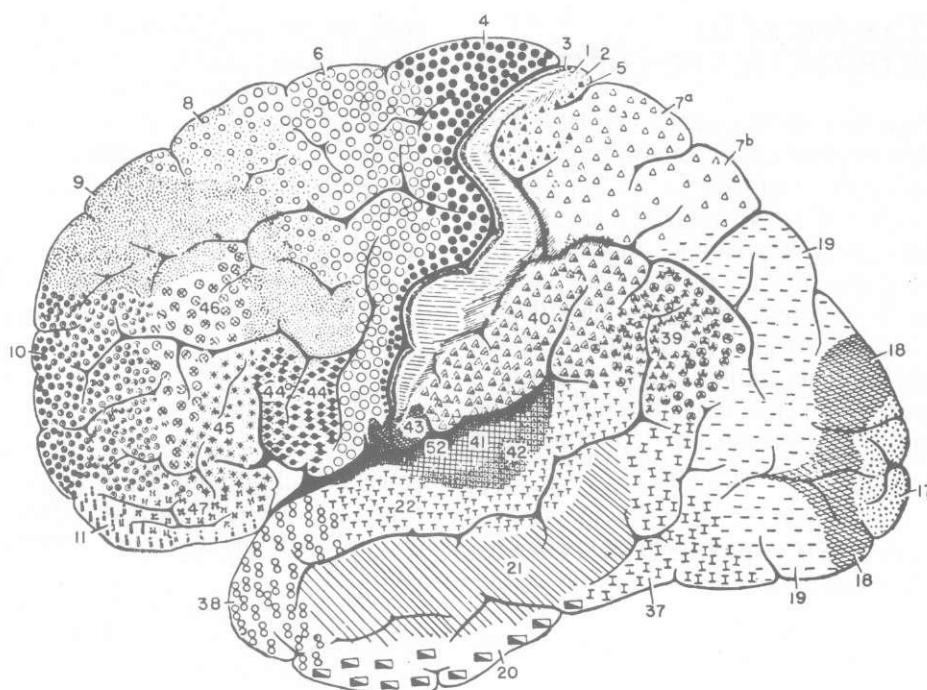



Fig. 27.2 — *Áreas citoarquiteturais do córtex na face súpero-lateral do cérebro (segundo Brodmann).*

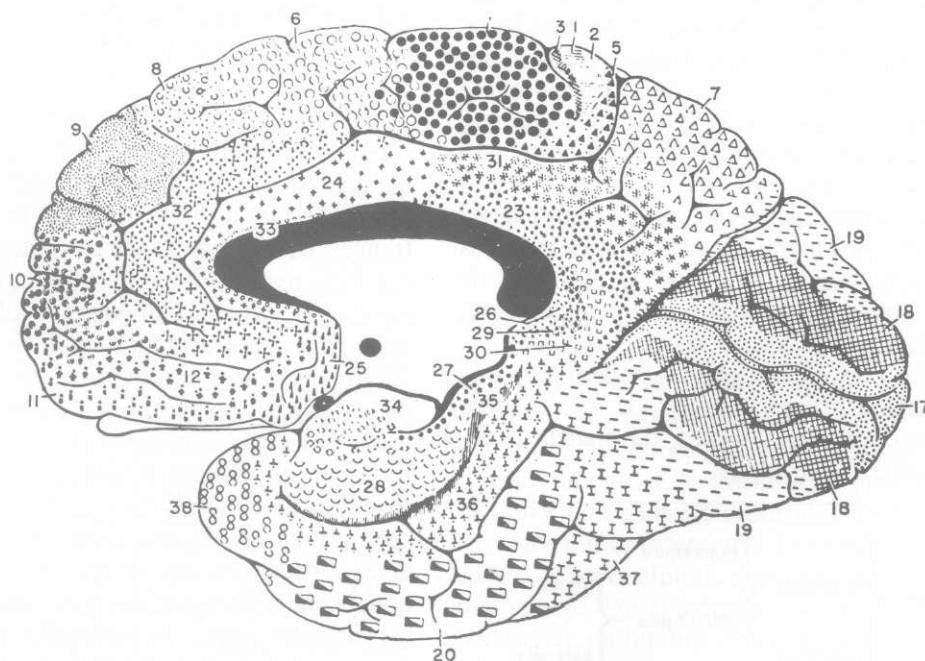



Fig. 27.3 — *Áreas citoarquiteturais do córtex na face medial do cérebro (segundo Brodmann).*

mas também para diagnóstico das diversas lesões que podem acometer esse órgão.

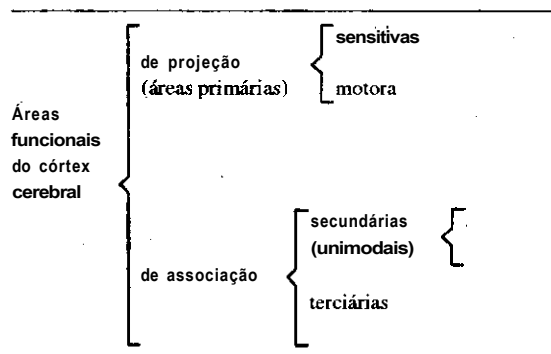
As localizações funcionais devem no entanto ser consideradas como especializações funcionais de determinadas áreas e não como compartimentos isolados c estanques. Assim, a possibilidade de se obter movimento por estimulação da área somestésica (área da sensibilidade so-

mática) não invalida o fato de que, pelo menos nos primatas*, se trata de uma área primordialmente sensitiva. Além do mais, as localizações funcionais do córtex e a distinção entre áreas motoras e sensitivas encontram apoio na própria citoarquitetura do córtex, como será visto mais adiante.

As várias áreas funcionais do córtex foram inicialmente classificadas em dois grandes grupos: *áreas de projeção* e *áreas de associação.* As áreas de projeção teriam conexões com centros subcorticais, enquanto as áreas de associação teriam conexões apenas com outras áreas corticais. Essa conceituação inicial não pode mais ser mantida, uma vez que está demonstrado que todas as áreas corticais têm conexões com centros subcorticais, especialmente com o sistema ativador reticular ascendente, cuja ação ativadora se exerce sobre todo o córtex. Contudo, a divisão do córtex cerebral em áreas de projeção e de associação, embora bastante esquemática, é ainda útil e pode ser usada dentro de uma conceituação nova: áreas de projeção são as que recebem ou dão origem a fibras relacionadas diretamente com a sensibilidade e com a motricidade. As demais áreas são coasideradas de associação e, de modo geral, estão relacionadas a funções psíquicas complexas. Assim, lesões nas áreas de projeção podem causar paralisias ou alterações na sensibilidade, o que não acontece nas áreas de associação. Lesões dessas áreas, entretanto, podem causar alterações psíquicas.

As áreas de projeção podem ser divididas em dois grandes grupos, de função e estrutura diferentes: *áreas sensitivas* e *áreas motoras.* Nas áreas sensitivas do neocórtex existe isocórtex heterotípico do tipo granular, o que está de acordo com a função primordialmente receptora das células granulares. Nas áreas motoras existe isocórtex heterotípico agranular, o que está de acordo com a função primordialmente efetuadora das células piramidais, que, como já foi visto, predominam nesse tipo de córtex. Já nas áreas de associação no neocórtex, existe isocórtex homotípico, pois, não sendo elas nem sensitivas nem motoras, não há grande predomínio de células granulares ou piramidais, o que permite a fácil individualização das seis camadas corticais. O neuropsicólogo russo Alexandre Luria** propôs uma divisão funcional do córtex baseada no seu grau de relacionamento com a motricidade e com a sensibilidade. As áreas ligadas diretamente à sensibilidade e à motricidade, ou seja, as áreas de projeção, são coasideradas *áreas primárias.* As áreas de associação podem ser divididas em *secundárias* e *terciárias.* As primeiras são também chamadas de *áreas unimodais,* pois estão ainda relacionadas, embora indiretamente, com uma determinada modalidade sensorial ou com a motricidade. As conexões de uma determinada área de associação uni modal se fazem predominantemente com a área primária da mesma função. Assim, por exemplo, a área de associação unimodal visual recebe fibras predominantemente da área visual primária ou área de projeção visual.

Já as áreas terciárias são *supramodais,* ou seja, não se ocupam mais do processamento motor ou sensitivo, mas estão envolvidas com atividades psíquicas superiores como, por exemplo, a memória os processos simbólicos e o pensamento abstrato. Mantêm conexões com várias áreas unimodais ou com outras áreas supramodais, e sua lesão causa alterações psíquicas sem qualquer conotação motora ou sensitiva.

A chave seguinte sintetiza o que já foi exposto sobre a classificação funcional das áreas corticais e as Figs. 27.6 e 27.7 mostram a disposição dessas áreas no cérebro.

* *Entretanto, a distinção entre as áreas motora e somestésica pode ser difícil cm mamíferos mais primitivos. Assim, no gambá e na preguiça a área motora coincide exatamente com a somestésica (Magalhãcs-Castro, B. & Saraiva, P.E.S. — 1971 —* Brain Research, *34:291-299 c Saraiva, P.E.S. & Magalhãcs-Castro, B. — 1975 —* Brain Research, *90:181-193).*

** *Luria, A. R. — 1977 — "Higher cortical functions in man". Translated from the Russian by B. Haigh. Basic Books Inc., New York, 634pp.*

5.0 — ÁREAS DE PROJEÇÃO (ÁREAS PRIMÁRIAS)

Como já foi visto, essas áreas, também chamadas áreas primárias, relacionam-se diretamente com a sensibilidade ou com a motricidade. Existe uma só área primária motora, situada no lobo frontal, e várias áreas primárias sensitivas nos demais lobos. De modo geral, a cada tipo de sensibilidade especial corresponde uma área primária, enquanto todas as formas de sensibilidade geral convergem para uma só área, a área somestésica. As áreas corticais primárias são estudadas a seguir.

5.1 — ÁREAS SENSITIVAS PRIMÁRIAS

5.1.1 — Área Somestésica

A área somestésica primária ou área da sensibilidade somática geral está localizada no giro pós-central, que corresponde às áreas 3, 2, 1 do mapa de Brodmann (Fig. 27.6). A área 3 localiza-se no fundo do sulco central, enquanto as áreas 1 c 2 aparecem na superfície do giro pós-central. Aí chegam radiações talâmicas que se originam nos núcleos ventral póstero-lateral e ventral póstero-medial do tálamo e trazem, por conseguinte, impulsos nervosos relacionados à temperatura, dor, pressão, tato c propriocepção consciente da metade oposta do corpo. Quando sc estimula eletricamente a área somestésica. o indivíduo tem manifestações sensitivas em partes determinadas do corpo, porém mal definidas, do tipo dormência ou formigamento. Por outro lado, se são estimulados receptores exteroceptivos ou se são leitos movimentos em determinadas articulações de modo a ativar receptores proprioceptivos, pode-se tomar potenciais evocados nas partes correspondentes da área somestésica. Pôde-se concluir, assim, que existe correspondência entre partes do corpo e partes da área somestésica (somatotopia).

Para representar essa somatotopia, Penfield e Rasmussen imaginaram um 'homúnculo sensitivo' (Fig. 27.4) dc cabeça para baixo no giro pós-central. Na porção superior desse giro, na parte medial do hemisfério, localiza-se a área dos órgãos genitais c do pé, seguida, já na parte súpero-lateral do hemisfério. das áreas da perna, do tronco e do braço, todas pequenas. Mais abaixo vem a área da mão, que é muito grande, seguida da área da cabeça, onde a face e a boca têm uma representação também bastante grande. Segue-se, já próxima ao sulco lateral, a área da língua e da faringe. Essa somatotopia é fundamentalmente igual à observada na área motora e nela chama atenção o território de representação da mão, especialmente dos dedos, o qual é desproporcionalmente grande. Esse fato demonstra o princípio, amplamente confirmado em estudos feitos cm animais, de que a extensão da representação cortical dc uma parte do corpo depende da importância funcional dessa parte para a biologia da espécie e não de seu tamanho*.

Lesões da área somestésica podem ocorrer, por exemplo, como conseqüência de acidentes vasculares cerebrais que comprometem as artérias cerebral média ou cerebral anterior. Há. então, perda da sensibilidade discriminativa do lado oposto â lesão. O doente perde a capacidade dc discriminar dois pontos, perceber movimentos de partes do corpo ou reconhecer diferentes intensidades dc estímulo. Apesar de distinguir as diferentes modalidades de estímulo, ele é incapaz de localizar a parte do corpo tocada ou de distinguir graus de temperatura, peso c textura dos objetos tocados. Em decorrência disso, o doente perde a estereognosia. ou seja, a capacidade de reconhecer os objetos colocados em sua mão. É interessante lembrar que as modalidades mais grosseiras de sensibilidade (sensibilidade protopática), tais como o tato não discriminativo c a sensibilidade térmica c dolorosa, permanecem praticamente inalteradas, pois, como já foi visto. elas se tornam conscientes em nível talâmico**.

5.1.2 — Área Visual

Localiza-se nos lábios do sulco calcarino e corresponde à área 17 de Brodmann (Figs. 27.6,

* *Assim, na área somestésica do tamanduá destaca-se a grande representação cortical da língua, o que está dc acordo com a importância desse órgão na biologia do animal (Saraiva, P.E.S.; Henriques, EG. e Cecílio, L.C.L — 1972 — Ciência e Cultura, 24:280).*

** *A área somestésica acima descrita é também conhecida como área somestésica (SI). Existe também uma área somestésica SII, muito menor, situada na borda superior do sulco lateral adjacente à insula. Ambas recebem projeções dos mesmos núcleos talâmicos, mas a organização somatotópica em SI é mais precisa que em SII, sendo que a representação das partes do corpo em SII é bilateral.*

27.7). Aí chegam as fibras do tracto geniculo-calcarino originadas no corpo geniculado lateral. Estimulações elétricas da área 17 causam alucinações visuais, nas quais o indivíduo vê círculos brilhantes, nunca objetos bem definidos. Estimulando-se pontos específicos da retina com um jato de luz filiforme, pode-se tomar potenciais elétricos evocados em partes específicas da área 17. Verificou-se, assim, que a metade superior da retina projeta-se no lábio superior do sulco calcarino e a metade inferior, no lábio inferior desse sulco. A parte posterior da retina (onde se localiza a mácula) projeta-se na parte posterior do sulco calcarino, enquanto a parte anterior projeta-se na porção anterior desse sulco. Existe, pois, correspondência perfeita entre retina e córtex visual. A ablação bilateral da área 17 causa cegueira completa na espécie humana. Em outros mamíferos, o sentido da visão não está completamente corticalizado e pode persistir alguma sensação luminosa, que permite ao animal desviar-se dos objetos em seu caminho, mesmo após lesão bilateral da área visual.

5.1.3 — Área Auditiva

A área auditiva está situada no giro temporal transverso anterior (giro de Heschl) e corresponde às áreas 41 e 42 de Brodmann (Fig. 27.6). Nela chegam fibras da radiação auditiva, que se originam no corpo geniculado medial. Estimulações elétricas da área auditiva de um indivíduo acordado causam alucinações auditivas que, entretanto, nunca são muito precisas, manifestando-se principalmente como zumbidos. Lesões bilaterais do giro temporal transverso anterior causam surdez completa. Lesões unilaterais causam déficits auditivos pequenos, pois, ao contrário das demais vias da sensibilidade, a via auditiva não é totalmente cruzada. Assim, cada cóclea representa-se no córtex dos dois hemisférios. Na área auditiva existe tonotopia, ou seja, sons de determinada freqüência projetam-se em partes específicas desta área, o que implica uma correspondência dessas partes com as partes da cóclea.

5.1.4 — Área Vestibular

Sabe-se hoje que a área vestibular localiza-se no lobo parietal, em uma pequena região próxima ao território da área somestésica correspondente à face. Assim, a área vestibular está mais relacionada com a área de projeção da sensibilidade proprioceptiva do que com a auditiva. Aliás, os receptores do vestíbulo já foram classificados como *proprioceptores especiais,* pois informam sobre a posição e o movimento da cabeça. Foi sugerido que a área vestibular do córtex seria importante para apreciação consciente da orientação no espaço.

Fig. 27.4 — Representação das partes do corpo na área somestésica. Homúnculo sensitivo (segundo Penfield e Rasmussen).

5.1.5 — Área Olfatória

A área olfatória, muito grande em alguns mamíferos, ocupa no homem apenas uma pequena área situada na parte anterior do úncus e do giro para-hipocampal (Fig. 27.7)*. Certos casos de epilepsia local do úncus causam alucinações olfatórias, nas quais os doentes subitamente se queixam de cheiros, em geral desagradáveis, que na realidade não existem. São as chamadas *crises uncinadas*, que podem ter apenas essa sintomatologia subjetiva ou completar-se com uma crise epiléptica do tipo 'grande mal'.

* Mais precisamente nas áreas pré-piriforme e peri-amigdalóide, que constituem a porção anterior do lobo piriforme.

5.1.6 — Área Gustativa

Corresponde à área 43 dc Brodmann (Fig. 27.6) e se localiza na porção inferior do giro pós-central, próxima à ínsula, cm uma região adjacente á parte da área somestésica correspondente á língua. Estimulações elétricas ou crises epilépticas cujo loco se inicia nessa região causam alucinações guslativas. Lesões dessa área provocam uma diminuição da gustação na metade oposta da língua.

5.2 — ÁREA MOTORA PRIMÁRIA

Ocupa a parte posterior do giro pré-central correspondente à área 4 de Brodmann (Fig. 27.6). Do ponto dc vista citoarquitetural, é um isocórtex heterotípico agranular caracterizado pela presença das células piramidais gigantes ou células dc Bctz. A estimulação elétrica da área 4 determina movimentos de grupos musculares do lado oposto, por exemplo, da mão, do braço etc. Do mesmo modo, focos epilépticos situados na área 4 causam movimentos de grupos musculares isolados, podendo se estender progressivamente a outros grupos, à medida que o estímulo se propaga. Com auxílio desses dois métodos — estimulação elétrica e observação de casos de epilepsia focal —, foi possível "mapear" o córtex motor primário de acordo com a representação das diversas partes do corpo, ou seja, foi possível fazer sua somatotopia. Essa somatotopia corresponde à já descrita para a área somestésica e pode ser representada por um homúnculo de cabeça para baixo, como mostra a Fig. 27.5. É interessante notar a grande extensão da área correspondente â mão quando comparada com as áreas do tronco e membro inferior. Isso mostra que a extensão da representação cortical dc uma parte do corpo na área 4 é proporcional não a seu tamanho, mas á delicadeza dos movimentos realizados pelos grupos musculares aí localizados. Os primeiros estudos sobre estimulação elétrica da área 4 levaram à idéia errônea de que em um determinado ponto dessa área estariam representados movimentos elementares envolvendo vários músculos. Entretanto, com técnicas mais modernas, em que a estimulação se faz com microeletrodos, foi possível evidenciar a contração de músculos isolados. Sabe-se também que o mesmo músculo pode estar representado em mais de um ponto, indicando a existência de convergência desses pontos sobre um mesmo grupo de neurônios motores. As principais conexões aferentes da área motora são com o tálamo — através do qual recebe informações do cerebelo —, com a área somestésica e com as áreas pré-motora c motora suplementar. Por sua vez, no homem, a área 4 dá origem à maior parte das libras dos tractos córtico-espinhal c corticonuclear, principais responsáveis pela motricidade voluntária.

Fig. 27.5 — Representação das partes do corpo na área motora. Homúnculo motor (segundo Penfield c Rasmussen).

6.0 — ÁREAS DE ASSOCIAÇÃO DO CÓRTEX

Esquematicamente pode-se considerar como áreas de associação do córtex aquelas que não se relacionam diretamente com a motricidade ou com a sensibilidade. Os efeitos das lesões ou estimulações dessas áreas são de avaliação mais difícil, especialmente em animais, pois geralmente não resultam em alterações da motricidade ou da sensibilidade. Por isso, essas áreas foram durante muito tempo denominadas áreas silenciosas do córtex.

Durante a filogênese, houve um aumento das áreas corticais de associação, que no homem ocupam um território cortical muito maior que o das áreas de projeção. Esse fato pode ser correlacionado com o grande desenvolvimento das funções psíquicas do homem.

A seguir serão estudadas as áreas de associação mais importantes, agrupadas de acordo com a classificação vista anteriormente em áreas secundárias c áreas terciárias.

6.1 — ÁREAS DE ASSOCIAÇÃO SECUNDÁRIAS

Como já foi visto, essas áreas são unimodais, ou seja, relacionam-se, ainda que indiretamente, com alguma modalidade de sensação ou com a motricidade, estando geralmente justapostas às áreas primárias correspondentes (Figs. 27.6, 27.7). Podem ser sensitivas ou motoras.

6.1.1 — Áreas de Associação Secundárias Sensitivas

São conhecidas três áreas sensitivas secundárias ou áreas sensitivas dc associação:

a) *área somestésica secundária** — situa-se no lóbulo parietal superior, logo atrás da área somestésica primária, e corresponde à área 5 e parte da área 7 de Brodmann (Figs. 27.6, 27.7);

b) *área visual secundária* — até há pouco tempo acreditava-se que essa área estaria limitada ao lobo occipital, situando-se adiante de área visual primária, correspondendo às áreas 18 c 19 de Brodmann. Sabe-se hoje, entretanto, que nos primatas, inclusive no homem, ela se estende ao lobo temporal, onde também ocupa as áreas 20, 21 e 37 dc Brodmann (Figs. 27.6, 27.7);

c) *área auditiva secundária* — situa-se no lobo temporal, circundando a área auditiva primária, e corresponde à área 22 de Brodmann (Fig. 27.6).

As áreas secundárias recebem aferências principalmente das áreas primárias correspondentes e repassam as informações recebidas às outras áreas do córtex, em especial às áreas supramodais.

Para que se possa entender melhor o significado funcional das áreas secundárias, cabe descrever os processos mentais envolvidos na identificação de um objeto. Essa identificação se faz em duas etapas: uma de sensação e outra de interpretação. Na *etapa de sensação* toma-se consciência das características sensoriais do objeto, sua forma, dure/a, cor, tamanho etc. Na *etapa de interpretação,* ou *gnosia,* tais características sensoriais são 'comparadas' com o conceito do objeto existente na memória do indivíduo, o que permite sua identificação.

Essas duas etapas dependem de áreas corticais diferentes. A etapa dc sensação faz-se em uma área sensitiva de projeção, ou área primária; já a etapa de interpretação, ou gnosia, envolve processos psíquicos muito mais complexos, que dependem da integridade das áreas de associação secundárias acima descritas e, em conseqüência disso, são às vezes denominadas *áreas gnósicas*. Esse fato pode ser demonstrado com o emprego de técnicas modernas dc visualização do fluxo sangüíneo em áreas restritas do cérebro. Assim, quando se estimula o sistema visual de um indivíduo simplesmente com luz branca, há aumento do fluxo (em conseqüência elo aumento do metabolismo) apenas na área visual primária. Por outro lado, quando a estimulação se faz com a apresentação de uma cena visual mais complexa, contendo objetos a serem identificados, à ativação metabólica da área primária segue-se ativação das áreas secundárias. A existência de duas áreas diferentes envolvidas na identificação dc objetos torna possível que elas sejam lesadas separadamente. Como já foi visto, a lesão das áreas primárias causa deficiências sensoriais, como cegueira e surdez, o que não ocorre nas lesões das áreas secundárias. Nesse caso, entretanto, ocorrem os quadros clínicos denominados *agnosias,* nos quais há perda da capacidade de reconhecer objetos, apesar de as vias sensitivas e das áreas de projeção cortical estarem perfeitamente normais. Distinguem-se *agnosias visuais, auditivas* e *somestésicas,* estas últimas geralmente táteis. Assim, um indivíduo com agnosia visual será incapaz de reconhecer objetos pela visão, embora possa reconhecê-los por outra forma de sensibilidade, como pelo tato, olfato etc.

Tipos especiais de agnosia visual e auditiva são os defeitos de linguagem denominados, respectivamente, *cegueira verbal* c *surdez verbal,* nos quais os indivíduos perdem total ou parcialmente a capacidade de reconhecer os símbolos visuais ou sonoros que constituem a linguagem escrita ou falada. Estas agnosias enquadram-se

* *Não deve ser confundida com a área somestésica (SII), descrita no rodapé da pág.* **264.**

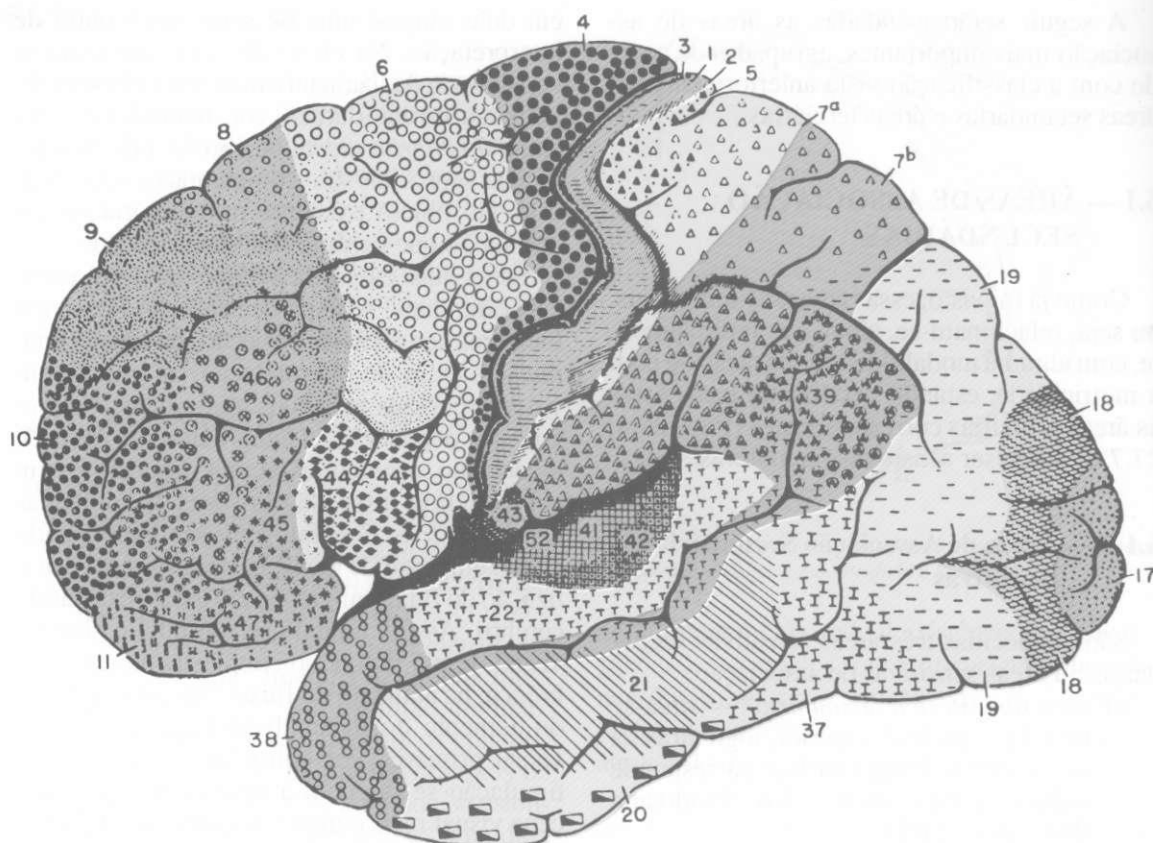



Fig. 27.6 — *Áreas corticais primárias (em vermelho), secundárias (cm amarelo) c terciárias (em azul), cm relação com as áreas citoarquiteturais dc Brodmann. Face súpero-lateral do cérebro.*

entre os defeitos de linguagem denominados afasias, que serão estudados no item 8.0. Um aspecto importante relacionado às áreas secundárias é que, do ponto de vista funcional, elas não são simétricas. Assim, lesões da mesma área resultam em sintomatologia diferente conforme o lado lesado. Por exemplo, lesão da área auditiva secundária no hemisfério esquerdo leva a uma *afasia,* ou seja, a uma dificuldade de compreensão de sons de linguagem. Já a mesma lesão no hemisfério direito pode causar uma *amusia,* ou seja, dificuldade de compreensão de sons musicais. A questão da assimetria das funções cerebrais será estudada mais minuciosamente no item 8.0.

6.1.2 — Áreas de Associação Secundária Motoras

Adjacentes à área motora primária, existem áreas motoras secundárias com as quais ela se relaciona. Lesões dessas áreas ou de suas freqüentemente causam *apraxias,* que são quadros clínicos correspondentes às agnosias já descritas a propósito das áreas sensitivas secundárias. Nas apraxias há incapacidade de executar determinados atos voluntários, sem que exista qualquer déficit motor. Nesse caso, a lesão está nas áreas corticais de associação relacionadas com o 'planejamento' dos atos voluntários e não na execução desses atos. Por exemplo, um indivíduo apráxico é incapaz de executar corretamente a seqüência de movimentos necessários para acender um cigarro e colocá-lo na boca. São consideradas áreas motoras secundárias ou áreas de associação motoras a *área motora suplementar,* a *área pré-motora* e a *área de Broca.* Estas áreas serão estudadas a seguir*.

* *Alguns autores colocam também entre as áreas motoras secundárias o centro oculógiro frontal, situado no giro frontal médio (área 8), próximo à representação da área motora para a face.*

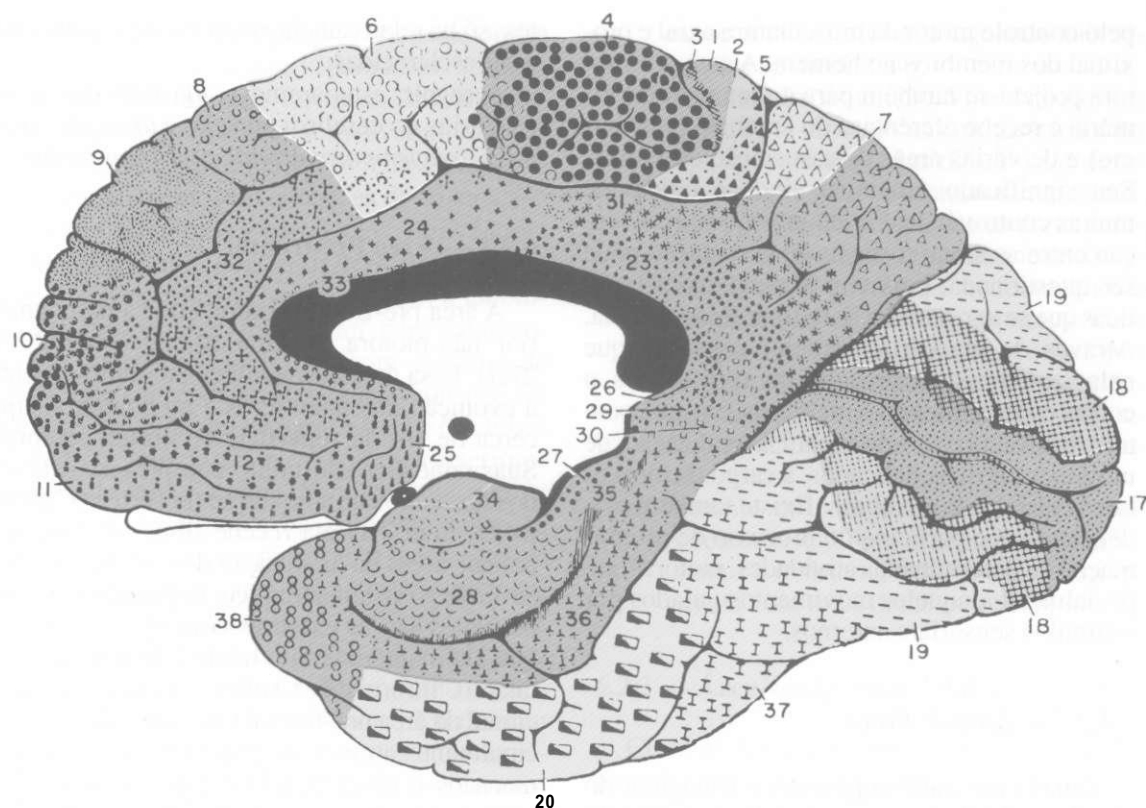



Fig. 27.7 — *Arcas corticais primárias (em vermelho), secundárias (em amarelo) e terciárias (cm azul), cm relação com as áreas citoarquiteturais de Brodmann. Face medial do cérebro.*

6.1.2.1 — Área Motora Suplementar

A área motora suplementar ocupa a parte mais alta da área 6, situada na face medial do giro frontal superior (Fig. 27.7). Suas principais conexões são com o corpo estriado, via tálamo c com a área motora primária. Do ponto dc vista funcional, relaciona-se com a concepção ou planejamento de seqüências complexas de movimentos, envolvendo, por exemplo, os dedos, e sabe-se que ela é ativada juntamente com a área motora primária, quando esses movimentos são executados. Fato curioso é que a área motora suplementar e ativada sozinha quando a pessoa e solicitada a repetir mentalmente a seqüência dos movimentos sem entretanto executá-los. Admite-se que para essa função de planejamento de movimentos complexos sejam importantes as amplas conexões aferentes que a área motora suplementar recebe do corpo estriado, que, como já foi visto, está também envolvido no planejamento motor.

6.1.2.2 — Área Pré-motora

A área pré-motora* localiza-se no lobo frontal, adiante da área motora primária,[4] e ocupa toda a extensão da área 6. situada na face lateral do hemisfério (Fig. 27.6). É muito menos excitável que a área motora primária, exigindo correntes elétricas mais intensas para que se obtenham respostas motoras. As respostas obtidas são menos localizadas que as que se obtém por estímulo da área 4 e envolvem grupos musculares maiores, como os do tronco ou da base dos membros. Nas lesões da área pré-motora esses músculos têm sua força diminuída (paresia), o que impede o paciente de elevar completamente o braço ou a perna. Admite-se que isso se deva ao fato de que a área pré-motora tem projeções para a formação reticular dc onde sc origina o tracto retículo-espinhal, principal responsável

* *A área pré-motora era considerada a principal área extrapiramidal do córtex em oposição à área 4, considerada a área piramidal. Estas denominações entretanto, caíram em desuso.*

pelo controle motor da musculatura axial e proximal dos membros no homem. A área pré-motora projeta-se também para a área motora primária e recebe aferências do cerebelo (via tálamo) e de várias áreas de associação do córtex. Seu significado funcional ainda é objeto de muitas controvérsias* c até mesmo sua colocação entre as áreas corticais de associação pode ser questionada, pois tem algumas características que se aproximam às de uma área primária. Através da via córtico-retículo-espinhal, que nela se origina, a área pré-motora coloca o corpo, especialmente os membros, em uma postura básica preparatória para a realização de movimentos mais delicados, a cargo da musculatura distal dos membros. Existe também evidência dc que participa do processo dc programação de determinadas atividades, motoras, especialmente daqueles movimentos guiados por estímulos sensoriais externos.

6.1.2.3 — Área de Broca

Situada nas partes opercular e triangular do giro frontal inferior, correspondendo à área 44 e parte da área 45 de Brodmann (Fig. 27.6), a área de Broca é responsável pela programação da atividade motora relacionada com a expressão da linguagem. Para isto está muito bem situada em frente àquela parte da área motora que controla os músculos relacionados com a vocalização. Lesões da área de Broca resultam em déficits de linguagem denominados *afasias*, que serão estudadas mais adiante, no item 7.0.

6.2 — ÁREAS DE ASSOCIAÇÃO TERCIÁRIAS

Segundo Luria, as áreas terciárias ocupam o topo da hierarquia funcional no córtex cerebral. Elas são supramodais, ou seja, não se relacionam isoladamente com nenhuma modalidade sensorial. Recebem e integram as informações sensoriais já elaboradas por todas as áreas secundárias e são responsáveis também pela elaboração das diversas estratégias comportamentais. As funções dessas áreas, até há algum tempo denominadas áreas 'silenciosas' do córtex, só há relativamente pouco tempo começam a ser esclarecidas.

A seguir, estudaremos cada uma das áreas terciárias do cérebro, ou seja, a *área pré-frontal*, *aárea temporoparietal* e as *áreas límbicas*.

6.2.1 — Área **Pré-frontal**

A área pré-frontal compreende a parte anterior não-motora do lobo frontal (Figs. 27.6, 27.7). Essa área desenvolveu-se muito durante a evolução dos mamíferos e no homem ocupa cerca de 1/4 da superfície do córtex cerebral. Suas conexões são muito complexas. Através dos fascículos dc associação do córtex (Capítulo 26, item 2.1) ela recebe libras de todas as demais áreas dc associação do córtex, ligando-se ainda ao sistema límbico. Especialmente importantes são as extensas conexões recíprocas que ela mantém com o núcleo dorsomedial do tálamo. Informações sobre o significado funcional da área pré-frontal têm sido obtidas principalmente através de experiências feitas em macacos e observação de casos clínicos nos quais houve lesão nessa área. Destes, um dos mais famosos ocorreu em 1868, quando P.T. Gage, funcionário de uma ferrovia americana, teve seu córtex pré-frontal destruído por uma barra de ferro, durante uma explosão. Ele conseguiu sobreviver ao acidente, mas sua personalidade, antes caracterizada pela responsabilidade e seriedade, mudou dramaticamente. Embora com suas funções cognitivas basicamente normais, ele perdeu totalmente o senso de suas responsabilidades sociais e passou a vaguear de um emprego para outro, dizendo "as mais grosseiras profanidades" c exibindo a barra de ferro que o vitimara. "Sua mente estava tão radicalmente mudada que seus amigos diziam que ele não era mais o mesmo Gage", afirma Harlow*.

No que se refere às observações cm animais, a experiência mais famosa foi feita em 1935. por Fulton c Jacobscn, cm duas macacas chimpanzé que tiveram suas áreas pré-frontais removidas. Depois da operação, as macacas passaram a não resolver mais certos problemas simples, como achar o alimento escondido pouco tempo antes. Isso levou os autores a sugerir

* *Para uma revisão sobre este assunto, veja Wise, S.P. —1985 —Annual Review of Neurosciences B: 1-91.*

* *Harlow, H.M. — 186X — "Recovery from the passage of an iron bar through the head". Mass.* **Med.** Publ. 2:327.

que a área pré-frontal poderia estar relacionada com algum tipo de memória para fatos recentes. Além disto, os animais tornaram-se completamente distraídos e não desenvolveram mais as características manifestações emocionais dc descontentamento, cm situações de frustração.

Com base nessas experiências, Egas Moniz e Almeida Lima. dois cirurgiões portugueses, fizeram pela primeira vez, em 1936. a ***lobotomia*** (ou ***leucotomia) pré-frontal,*** para tratamento de doentes psiquiátricos com quadros de depressão e ansiedade. A operação consiste em uma secção bilateral da parte anterior dos lobos frontais, passando adiante dos cornos anteriores dos ventrículos laterais. Sabe-se hoje que os resultados devem-se principalmente à secção das conexões da área pré-frontal com o núcleo dorsomedial do tálamo. Essa cirurgia melhora os sintomas dc ansiedade e depressão dos doentes, que entram cm estado de 'tamponamento psíquico', ou seja, deixam de reagir a circunstâncias que normalmente determinam alegria ou triste/a. Assim, por exemplo, pacientes com dores intratáveis causadas por um câncer e profundamente deprimidos, após a lobotomia, embora continuem a sentir dor, melhoram do ponto dc vista emocional c passam a não dar mais importância à sua grave situação clínica. O trabalho dc Egas Moniz c Almeida Lima sobre a leucotomia frontal teve grande repercussão, pois pela primeira vez empregou-se uma técnica cirúrgica para tratamento de doenças psíquicas *(psicocirurgia)*. O método foi largamente usado, caindo cm desuso com o aparecimento dc drogas de ação antidepressiva. Uma conseqüência indesejável da leucotomia é que muitos pacientes perdem a capacidade de decidir sobre os comportamentos mais adequados diante dc cada situação, podendo por exemplo, com a maior naturalidade, urinar, defecar ou masturbar-se cm público.

Embora existam ainda muitas divergências e especulações em torno do significado funcional da área pré-frontal, a interpretação às vezes difícil de dados experimentais c clínicos, como os expostos acima, permite concluir que esta área está envolvida pelo menos nas seguintes funções:

a) escolha das opções e estratégias comportamentais mais adequadas à situação física e social do indivíduo, assim como a capacidade de alterá-las quando tais situações se modificam;
b) manutenção da atenção. Vimos que lesões na área pré-frontal causam distração, ou seja, os pacientes têm dificuldade dc sc concentrar e fixar voluntariamente a atenção. Cabe lembrar que outras áreas cerebrais — a formação reticular inclusive — também estão envolvidas no fenômeno da atenção. Entretanto, os aspectos mais complexos dessa função, como, por exemplo, a capacidade de seguir seqüências ordenadas de pensamentos, dependem fundamentalmente da área pré-frontal;
c) controle do comportamento emocional, função exercida juntamente com o hipotálamo e o sistema límbico. que será estudada com mais detalhe no Capítulo 28.

6.2.2 — Área Temporoparietal

Compreende todo o lóbulo parietal inferior, ou seja, os giros supramarginal, área 40, e angular, área 39 (Fig. 27.6) estendendo-se também às margens do sulco temporal superior e parte do lóbulo parietal superior (Figs. 27.6, 27.7)*. Situa-se pois entre as áreas secundárias auditiva, visual e somestésica. funcionando como centro que integra informações recebidas dessas três áreas. A área temporoparietal é importante para percepção espacial, permitindo ao indivíduo determinar as relações entre os objetos no espaço extrapessoal. Ela permite também que se tenha uma imagem das partes componentes do próprio corpo, razão pela qual já foi também denominada ***área do esquema corporal***. Essas funções ficam mais claras com a descrição dos quadros clínicos ligados a lesões que nela ocorrem. Um dos sintomas pode ser uma desorientação espacial generalizada, que faz com que o paciente não mais consiga deslocar-se de casa para o trabalho e. nos casos mais graves, nem mesmo dirigir-se dc uma cadeira para a cama.

Entretanto, o quadro clínico mais característico das lesões da área temporoparietal em es-

* *Conceito segundo Mesulam, M-M — 1985 — Patterns in behavioral neuroanatomy: Association areas, the limbic system and hemispheric specialization in Mesulam, M-M, Ed., Principles* **of behavioral neurology,** *F.A. Davis Co., Philadelphia, pp. 1-70.*

pecial de sua parte parietal é a chamada *síndrome de negligência* ou *síndrome de inatenção,* que se manifesta nas lesões do lado direito, ou seja, no hemisfério mais relacionado com os processos visuo-espaciais. Pode-se considerar um quadro de negligência em relação ao próprio corpo ou ao espaço exterior. No primeiro caso, o paciente perde a noção do seu esquema corporal, deixa de perceber a metade esquerda de seu corpo como fazendo parte do seu 'eu' e passa a negligenciá-la Assim, ele deixa de se lavar, fazer a barba ou calçar os sapatos do lado esquerdo, não porque não possa fazê-lo mas simplesmente porque, para ele, a metade esquerda do corpo não lhe pertence. Alguns doentes com hemiplegia esquerda sequer reconhecem que seu lado esquerdo está paralisado. No caso da síndrome de negligência em relação ao espaço extrapessoal, que pode ser concomitante com o quadro anterior, o paciente passa a agir como se do lado esquerdo o mundo deixasse de existir de qualquer forma significativa para ele. Assim, ele só escreve na metade direita do papel, só lê a metade direita das sentenças e só come o alimento colocado no lado direito do prato. O neurologista só poderá conversar com um doente como esse se abordá-lo pelo lado direito.

6.23 — Áreas Límbicas

As áreas córticas de associação límbicas (Fig. 27.7) compreendem o giro do cíngulo, o giro para-hipocampal e o hipocampo*. Essas áreas, relacionadas principalmente com a memória e o comportamento emocional, integram o sistema límbico e serão estudadas no próximo capítulo.

7.0 — ÁREAS RELACIONADAS COM A LINGUAGEM. AFASIAS

A linguagem verbal é um fenômeno complexo do qual participam áreas corticais e subcorticais**. Não resta a menor dúvida, entretanto, de que o córtex cerebral tem o papel mais importante. Modernamente, com base sobretudo nos trabalhos de Geschwind, admite-se a existência de apenas duas áreas corticais para a linguagem: uma anterior e outra posterior (Fig. 27.8), ambas de associação. A *área anterior da linguagem* (Fig. 27.8) corresponde à área de Broca já descrita no item 6.1.2.3 e está relacionada com a *expressão da linguagem.* A *área posterior da linguagem* situa-se na junção entre os lóbulos temporal e parietal e corresponde à parte mais posterior da área 22 de Brodmann (Fig. 27.8). Ela é conhecida também como *área de Wernicke,* em homenagem a Carl Wernicke, que primeiro a descreveu. Está relacionada basicamente com a *percepção da linguagem.*

Essas duas áreas estão ligadas pelo *fascículo longitudinal superior* ou *fascículo arqueado* (Fig. 26.4), através do qual informações relevantes para a correta expressão da linguagem passam da área de Wernicke para a área de Broca. Lesões dessas áreas dão origem a distúrbios de linguagem denominados *afasias.* Nas afasias, as perturbações da linguagem não podem ser atribuídas a lesões das vias sensitivas ou motoras envolvidas na fonação, mas apenas lesão das áreas corticais de associação responsáveis pela linguagem. Distinguem-se dois tipos básicos de afasia: *motora* ou *de expressão,* cm que a lesão ocorre na área de Broca; *sensitiva* ou de *percepção,* em que a lesão ocorre na área de Wernicke. Nas afasias motoras, ou *afasias de Broca,* o indivíduo é capaz de compreender a linguagem falada ou escrita, mas tem dificuldade de se expressar adequadamente, falando ou escrevendo. Nos casos mais comuns, ele consegue apenas produzir poucas palavras com dificuldade e tende a encontrar as frases falando ou escrevendo de maneira telegráfica. Nas afasias sensitivas, ou afasias de Wernicke, a compreeasão da linguagem tanto falada como escrita é muito deficiente. Há também algum déficit na expressão da linguagem, uma vez que o perfeito funcionamento da área de Broca depende de informações que recebe da área de Wernicke, através do fascículo arqueado. Nos raros casos em que esse fascículo é lesado, temos a chamada *afasia de condução,* em que a compreensão da linguagem é normal (pois a área de Wernicke está íntegra), mas existe déficit da expressão. Na realidade, o problema das alterações corticais da linguagem é bem mais complexo, e há inúmeras classificações para os diferentes tipos de *afasias* encontradas na prá-

---

* *Alguns autores incluem também entre as áreas límbicas o ápice do lobo temporal e o córtex da superfície orbital do lobo frontal, este último incluído por vários autores na área pré-frontal.*

** *Sabe-se, por exemplo, que o pulvinar do tálamo tem influência sobre o fenômeno da linguagem.*

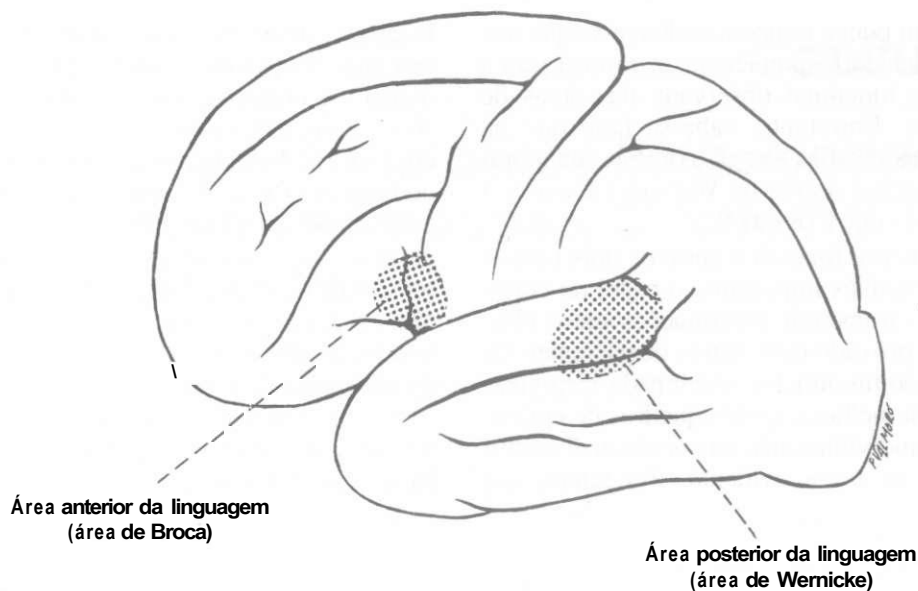



Fig. 27.8 — *Áreas corticais da linguagem.*

tica clínica. Um fato extremamente importante é que, na maioria dos indivíduos, as áreas corticais da linguagem se localizam apenas no lado esquerdo, como será visto com mais detalhe no próximo item sobre a assimetria das funções corticais.

8.0 — ASSIMETRIA DAS FUNÇÕES CORTICAIS

Desde o século passado, os neurologistas constataram que as afasias estão quase sempre associadas a lesões no hemisfério esquerdo e que lesões do lado direito só excepcionalmente causam distúrbios da linguagem. Esse fato demonstra que, do ponto de vista funcional, os hemisférios cerebrais não são simétricos e que na maioria dos indivíduos as áreas da linguagem estão localizadas apenas do lado esquerdo. Surgiu assim o conceito de que esse hemisfério seria o *hemisfério dominante*, enquanto o hemisfério direito exerceria um papel secundário. Na realidade, sabe-se que, se o hemisfério esquerdo é mais importante do ponto de vista da linguagem e do raciocínio matemático, o direito é 'dominante' no que diz respeito ao desempenho de certas habilidades artísticas como música e pintura, à percepção de relações espaciais ou ao reconhecimento da fisionomia das pessoas. Entretanto, desde que entendido apenas como aquele hemisfério no qual se localizam as áreas da linguagem, o conceito de hemisfério dominante pode ser empregado, mesmo porque ele continua a ser de uso corrente na prática médica. Convém assinalar que a assimetria funcional dos hemisférios cerebrais se manifesta apenas nas áreas de associação, uma vez que o funcionamento das áreas de projeção, tanto motoras como sensitivas é igual dos dois lados. Curiosas são as relações entre dominância cerebral na linguagem e o uso preferencial da mão. Em 96% dos indivíduos destros, o hemisfério dominante é o esquerdo, mas nos indivíduos canhotos ou ambidestros esse valor cai para 70%. Isso significa que em um canhoto é mais difícil prever o lado em que se localizam os centros da linguagem. Essa informação é importante para um neurocirurgião que pretenda operar regiões próximas às áreas de Broca ou de Wernicke de um indivíduo, pois qualquer ação intempestiva nessas áreas poderia causar uma afasia. Para saber com segurança o lado em que estão os centros da linguagem, o cirurgião injeta em uma das carótidas um anestésico de ação muito rápida (amital sódico) enquanto pede ao paciente que comece a contar em voz alta. A droga é levada preferencialmente ao hemisfério do mesmo lado em que foi injetada e nele causa um breve período de disfunção. Se nesse hemisfério estiverem os centros da linguagem, o paciente pára de contar e não responde ao comando para continuar.

Até bem pouco tempo acreditava-se que não haveria uma correspondência anatômica para a assimetria funcional observada nas áreas de linguagem. Entretanto, sabe-se hoje que na maioria das pessoas a região do lobo temporal correspondente à área de Wernicke é maior à esquerda do que à direita*.

A assimetria funcional entre os dois hemisférios torna mais importante o papel do corpo caloso, de transmitir informações entre eles. Isso ficou provado pelo estudo de pacientes em que essa comissura foi seccionada cirurgicamente para melhorar certos quadros de epilepsia. Esses indivíduos não têm nenhum distúrbio sensitivo ou motor evidente. Entretanto, são incapazes de descrever um objeto colocado em sua mão esquerda, embora possam fazê-lo quando o objeto é colocado na mão direita. Nesse caso, as impressões sensoriais do objeto chegam ao hemisfério esquerdo, dominante, onde estão as áreas da linguagem, o que permite a descrição do objeto. Já no caso em que o objeto é colocado na mão esquerda, os impulsos sensoriais chegam ao hemisfério direito, onde não existem áreas da linguagem. Como estão lesadas as fibras do corpo caloso, que, no indivíduo normal, transmitem as informações aos centros da linguagem do hemisfério esquerdo, o indivíduo, apesar de reconhecer o objeto, é incapaz de descrevê-lo.

* *Para uma discussão mais minuciosa desse fato, veja Geschwind, N. & Levitsky, W. — 1968 — "Human brain: left-right assymetrics in temporal region".* **Science** *161:186-187.*

Capítulo 28

Áreas Encefálicas Relacionadas com as Emoções. O Sistema Límbico

1.0 — INTRODUÇÃO

Alegria, tristeza, medo, prazer e raiva são exemplos do fenômeno da emoção. Para seu estudo, costuma-se distinguir um componente central, subjetivo, c um componente periférico, o comportamento emocional. O componente periférico é a maneira como a emoção sc expressa e envolve padrões de atividade motora, somática e visceral, que são característicos de cada tipo de emoção e de cada espécie. Assim, por exemplo, a raiva manifesta-se de maneira muito diferente no homem, no gato ou em um galo garnizé. A alegria no homem se expressa pelo riso, no cachorro pelo abanar da cauda. O choro é uma expressão da tristeza, característica do homem*. A distinção entre o componente interno, subjetivo, e o componente externo, expressivo da emoção, é, pois, importante para seu estudo. Ela fica mais clara sc lembrarmos que um bom ator pode simular perfeitamente todos os padrões motores ligados à expressão dc determinada emoção, sem que sinta emoção nenhuma.

Durante muito tempo acreditou-se que os •fenômenos emocionais estariam na dependência dc todo o cérebro. Coube a Hess, prêmio Nobel de medicina há cerca de 50 anos, demonstrar que esses fenômenos estão relacionados com áreas específicas do cérebro. Este cientista implantou eletrodos em diferentes regiões do hipotálamo do gato e observou as mais variadas manifestações de comportamento emocional, quando estas áreas eram estimuladas eletricamente em animais livres c acordados. Sabe-se hoje que as áreas relacionadas com OS processos emocionais ocupam territórios bastante grandes do encéfalo, destacando-se entre elas o hipotálamo, a área pré-frontal e o sistema límbico. O interessante é que a maioria dessas áreas está relacionada também com a motivação, em especial com os processos motivacionais primários, ou seja, aqueles estados dc necessidade ou de desejo essenciais à sobrevivência da espécie ou do indivíduo, tais como fome, sede c sexo. Por outro lado, as áreas encefálicas ligadas ao comportamento emocional também controlam o sistema nervoso autônomo, o que é fácil de entender, tendo cm vista a importância da participação desse sistema na expressão das emoções. Essas áreas serão estudadas a seguir.

2.0 —TRONCO ENCEFÁLICO

No tronco encefálico estão localizados vários núcleos de nervos cranianos, viscerais ou somáticos, além dc centros viscerais como o centro respiratório e o vasomotor. A ativação destas estruturas por impulsos nervosos de origem telencefálica ou diencefálica ocorre nos estados emocionais, resultando nas diversas manifestações que acompanham a emoção, tais como o choro, as alterações fisionômicas, a sudorese, a salivação, o aumento do ritmo cardíaco etc. Além disto, as diversas vias

* *Para um estudo comparativo sobre a expressão das emoções, veja o clássico e ainda atual livro de Charles Darwin* The expression of the emotions in man and animals. *London, John Murray, 1872.*

descendentes que atravessam ou se originam no tronco encefálico vão ativar os neurônios medulares, permitindo aquelas manifestações periféricas dos fenômenos emocionais que sc fazem por nervos espinhais ou pelos sistemas simpático c parassimpático sacral. Deste modo, o papel do tronco encefálico é principalmente efetuador, agindo basicamente na expressão dos emoções.

Contudo, existem dados que sugerem que a substância cinzenta central do mesencéfalo e a formação reticular podem ter, também, um papel regulador de certas formas de comportamento agressivo.

Cabe lembrar também que no tronco encefálico origina-se a maioria das libras nervosas monoaminérgicas do sistema nervoso central, destacando-se aquelas que constituem as vias serotoninérgicas, noradrenérgicas e dopaminérgicas (Capítulo 20B). Estas vias projetam-se para o diencéfalo e telencéfalo e, deste modo, exercem ação moduladora sobre os neurônios e circuitos nervosos existentes nas principais áreas encefálicas relacionadas com o comportamento emocional. E especialmente importante a via dopaminérgica mesolímbica, que se projeta especificamente para áreas altamente relevantes à regulação dos fenômenos emocionais, como o sistema límbico e a área pré-frontal. Em síntese, embora os centros encefálicos mais importantes para a regulação das emoções não estejam no tronco encefálico, estes centros sofrem influência de neurônios nele localizados, através das vias monoaminérgicas que aí se originam.

3.0 — HIPOTÁLAMO

O estudo do hipotálamo foi feito no Capítulo 23, onde foram analisadas suas inúmeras funções. Entre estas são especialmente relevantes no contexto do atual capítulo a regulação dos processos motivacionais e dos fenômenos emocionais. Estes últimos serão estudados com mais detalhes agora. A participação do hipotálamo na regulação do comportamento emocional, evidenciada pela primeira vez por Hess. foi amplamente confirmada cm vários animais e no homem. Estimulações elétricas ou lesões do hipotálamo em animais não anestesiados determinam respostas emocionais complexas, como raiva c medo, ou, conforme a área, placidez. Verificou-se, por exemplo, que a lesão do núcleo ventromedial do gato torna o animal extremamente agressivo e perigoso. Em uma experiência clássica verificou-se que, quando se retiram os hemisférios cerebrais de um gato, inclusive o diencéfalo, deixando-se apenas a parte posterior do hipotálamo, o animal desenvolve um quadro de raiva que desaparece quase completamente quando se destrói todo o hipotálamo. Sabe-se hoje que este quadro dc raiva só aparece quando são incluídas na lesão áreas corticais ou subcorticais do sistema límbico. Este sistema, através de inúmeras conexões (veja Capítulo 23, item 2.1), exerce uma ação inibidora sobre o hipotálamo posterior que, quando liberado, funciona como agente de expressão das manifestações viscerais e somáticas que caracterizam a raiva. Ao que parece, o hipotálamo tem um papel preponderante como coordenador das manifestações periféricas das emoções. Sabe-se, entretanto, que a estimulação dc certas áreas do hipotálamo do homem desperta uma sensação de prazer, o que sugere sua participação também no componente central, subjetivo, da emoção.

A maioria das modificações do comportamento observadas em experiências com o hipotálamo de animais já foi também observada no homem, em experiências realizadas durante o ato operatório ou como conseqüência de traumatismos, tumores, lesões vasculares ou infecções desta região. Não resta pois, dúvidas de que o hipotálamo exerce um importante papel na coordenação e integração dos processos emocionais.

4.0 — TÁLAMO

Lesões ou esümulações do núcleo dorsomedial e dos núcleos anteriores do tálamo já foram correlacionadas com alterações da reatividade emocional no homem e cm animais. Ao que parece, entretanto, a importância destes núcleos na regulação do comportamento emocional decorre de suas conexões. O núcleo dorsomedial liga-se ao córtex da área pré-frontal ao hipotálamo e ao sistema límbico.

Os núcleos anteriores ligam-se ao corpo mamilar e ao córtex do giro do cíngulo, fazendo parte de circuitos do sistema límbico. A significação funcional da área pré-frontal e do sistema límbico será estudada a seguir.

5.0 — ÁREA PRÉ-FRONTAL

A área pré-frontal corresponde à parte não motora do lobo frontal, caracterizando-se como córtex de associação supramodal. Suas conexões e funções já foram descritas no Capítulo 27, item 7.2.1, onde foram apresentadas as evidências de sua participação no controle do comportamento emocional.

6.0 — SISTEMA LÍMBICO

6.1 — CONCEITO DE SISTEMA LÍMBICO

Na face medial de cada hemisfério cerebral observa-se um anel cortical contínuo constituído pelo giro do cíngulo, giro para-hipocampal e hipocampo (Figs. 8.5, 28.2). Este anel cortical contorna as formações inter-hemisféricas e foi considerado por Broca como um lobo independente, o *grande lobo límbico* (de limbo, contorno). Este lobo é filogenetieamente muito antigo, existindo em todos os vertebrados. Apresenta uma certa uniformidade citoarquitetural, pois seu córtex é mais simples que o do isocórtex que o circunda. Do ponto de vista funcional admitiu-se durante muito tempo que o lobo límbico teria funções olfatórias, fazendo parte do chamado *rinencéfalo*, ou encéfalo olfatório. Em 1937, o neuroanatomista James Papez publicou um trabalho famoso*, no qual propunha uma nova teoria para explicar o mecanismo da emoção. Este mecanismo envolveria as estruturas do lobo límbico, do hipotálamo e do tálamo, todas unidas por um circuito hoje conhecido como circuito de Papez. Estas estruturas compreenderiam um mecanismo harmonioso, que não só elaboraria o processo subjetivo central da emoção, mas também participaria de sua expressão. O trabalho de Papez foi fundamentalmente teórico e especulativo, embora ele chamasse a atenção para certos dados clínicos, como as dramáticas alterações do comportamento emocional causadas pela raiva (hidrofobia), cujo vírus lesa preferencialmente o hipocampo. Embora muitos aspectos da teoria da emoção dc Papez não sejam mais aceitos, o ponto fundamental, isto é, a importância das estruturas do lobo límbico e de suas conexões nas manifestações emocionais está, hoje, amplamente confirmado. Verificou-se também que estas estruturas não participam da apreciação consciente dos odores, sendo, pois, incorreto incluí-las no rinencéfalo, ou seja, no encéfalo olfatório. Este termo é hoje usado em um conceito muito mais restrito para indicar apenas estruturas relacionadas diretamente com a olfação, ou seja, o nervo, bulbo e tracto olfatórios, a estria olfatória lateral c o úncus. As demais formações anatômicas que tradicionalmente integravam o rinencéfalo são hoje estudadas como parte do chamado *sistema límbico*. Este pode, pois, ser conceituado como um sistema relacionado fundamentalmente com a regulação dos processos emocionais e do sistema nervoso autônomo constituído pelo lobo límbico e pelas estruturas subcorticais a ele relacionadas.

* *Papez, J. — 1937 — A proposed mechanism for emotion.* Archives of Neurology and Psychiatry, *38:725-743.*

6.2 — COMPONENTES DO SISTEMA LÍMBICO

Dentro do conceito enunciado no item 6.1, não há completo acordo entre os autores quanto às estruturas que deveriam fazer parte do sistema límbico. Assim, enquanto alguns autores consideram como integrando este sistema uma parte da formação reticular e todo o hipotálamo, outros seguem o ponto de vista inicial de MacLean e colocam nele apenas parte do hipotálamo, posição seguida neste livro*.

A seguir, apresentamos uma relação de estruturas cuja inclusão no sistema límbico é admitida pela maioria dos autores, agrupando-as cm duas categorias: componentes corticais, constituídos de áreas de associação terciárias, c componentes subcorticais.

6.2.1 — Componentes Corticais

a) *giro do cíngulo* — contorna o corpo caloso, ligando-se ao giro para-hipocampal pelo istmo do giro do cíngulo (Fig. 8.5). É constituído dc um tipo de córtex intermediário entre o isocórtex e o alocórtex

* *Acreditamos que sc todo o hipotálamo for considerado parte do sistema límbico, uma certa unidade funcional que ainda existe nesse sistema ficará perdida pelo acréscimo de novas funções, como regulação da temperatura, secreção dc hormônios, regulação do sono c dos ritmos circadianos.*

que alguns autores chamam de mesocórtex. É percorrido por um feixe de fibras, o fascículo do cíngulo;

b) *giro para-hipocampal* — situa-se na face inferior do lobo temporal (Figs. 8.5, 28.1) e, em grande parte, é constituído de um córtex muito antigo, paleocórtex, que do ponto de vista citoarquitetural se classifica como alocórtex;

c) *hipocampo** — eminência alongada e curva que no homem situa-se no assoalho do corno inferior dos ventrículos laterais (Fig. 8.8) acima do giro para-hipocampal (Fig. 28.1). O hipocampo é constituído dc um córtex muito antigo, arquicórtex, do tipo alocórtex. Proteja-se para o corpo mamilar e área septal através de um feixe compacto de fibras, o fórnix (Fig. 8.5).

6.2.2 — Componentes Subcorticais

a) *corpo amigdalóide* — também chamado núcleo amigdalóide, é um dos núcleos da base. Situa-se no lobo temporal, próximo ao úncus (Fig. 26.3) e em relação com a cauda do núcleo caudado (Fig. 26.1). É constituído de numerosos subnúcleos e suas conexões são extremamente amplas e complexas. A maioria de suas fibras eferentes agrupa-se em um feixe compacto, a estria terminal** (Fig. 8.8), que acompanha a curvatura do núcleo caudado e termina principalmente no hipotálamo;

b) *área septal* — situada abaixo do rostro do corpo caloso, anteriormente à lâmina terminal e à comissura anterior (Fig. 8.4), a área septal compreende grupos de neurônios de disposição subcortical conhecidos como *núcleos septais.* Alguns destes neurônios se estendem até a base do septo pelúcido. A área septal tem conexões extremamente amplas e complexas, destacando-se suas projeções para o hipotálamo e para a formação reticular, através do feixe prosencefálico medial;

c) *núcleos mamilares* — pertencem ao hipotálamo c situam-se nos corpos mamilares (Fig. 8.6). Recebem fibras do hipocampo que chegam pelo fórnix (Fig. 27.1) e sc projetam principalmente para os núcleos anteriores do tálamo e para a formação reticular, respectivamente pelos fascículos mamilo-talâmico e mamilo-tegmentar;

d) *núcleos anteriores do tálamo* — situam-se no tubérculo anterior do tálamo (Fig. 25.1). Recebem fibras dos núcleos mamilares c projetam-se para o giro do cíngulo;

c) *núcleos habenulares* — situam-se na região do trígono das habênulas no epitálamo (Fig. 5.2). Recebem fibras aferentes pela estria medular e projetam-se para o núcleo interpeduncular do mesencéfalo.

** O termo hipocampo é empregado no seu sentido mais amplo e inclui o hipocampo propriamente dito, ou corno de Amnion, o giro denteado c o* **subiculum** *(Fig. 28.1). Estas três estruturas, em conjunto, são freqüentemente denominadas formação* **do hipocampo.**

*** Uma parte das fibras eferentes do corpo amigdalóide constitui a* **via** *amigdalófuga* **ventral,** *que termina no núcleo dorsomedial do tálamo c no hipotálamo.*

6.3 — CONEXÕES DO SISTEMA LÍMBICO

Com o aparecimento de modernas técnicas de pesquisa neuroanatômica, nosso conhecimento sobre as conexões dos diversos componentes do sistema límbico aumentou consideravelmente. Apesar disto, não se conhece ainda o significado funcional de grande parte dessas conexões, que são muito complexas. Seu estudo será feito a seguir, de maneira esquemática e simplificada.

6.3.1 — Conexões Intrínsecas

Os diversos componentes do sistema límbico mantêm entre si numerosas e complexas intercomunicações. Dentre elas, a mais conhecida é o *circuito de Papez,* circuito fechado que une as seguintes estruturas límbicas, enumeradas na seqüência que representa a direção predominante dos impulsos nervosos (Fig. 28.2): hipocampo, fórnix, corpo mamilar, fascículo mamilo-talâmico, núcleos anteriores do tálamo, cápsula interna, giro do cíngulo, giro para-hipocampal e novamente o hipocampo, fechando o circuito. A importância desse circuito no mecanismo das emoções foi apontada inicialmente por Papez (ver item 6.1) e há evidência de que ele está envolvido também no mecanismo da memória.

Fig. 28.1 — *Esquema de um corte frontal do giro para-hipocampal e hipocampo.*

O corpo amigdalóide c a área septal, que mantêm entre si conexões recíprocas, embora não façam parte do circuito de Papez, ligam-se a este circuito em vários pontos.

6.3.2 — Conexões Extrínsecas

As estruturas do sistema límbico têm amplas conexões com setores muito diversos do sistema nervoso central, destacando-se, por sua importância, as conexões recíprocas que mantêm com o hipotálamo (Capítulo 23, item 2.1). Essas conexões serão estudadas a seguir.

6.3.2.1 — Conexões Aferentes

É do senso comum que as pessoas podem se emocionar pela simples recordação de episódios passados armazenados na memória. Mais freqüentemente, entretanto, as emoções são desencadeadas pela entrada no sistema nervoso central de determinadas informações sensoriais. Assim, por exemplo, informações visuais, auditivas, somestésicas ou olfatórias que sinalizem perigo podem despertar medo. Há evidência de que todas essas modalidades dc informações sensoriais têm acesso ao sistema límbico. embora nunca diretamente. Elas são antes processadas nas áreas corticais dc associação secundárias e terciárias e penetram no sistema límbico por vias que chegam ao giro para-hipocampal (área entorrinal) de onde passam ao hipocampo, ganhando assim o circuito de Papez. Fazem exceção os impulsos olfatórios, que passam diretamente da área cortical de projeção para o giro para-hipocampal e o corpo amigdalóide. Também as informações relacionadas com a sensibilidade visceral têm acesso ao sistema límbico, seja diretamente, através das conexões do núcleo do tracto solitário com o corpo amigdalóide, seja indiretamente, via hipotálamo. Ainda a propósito das conexões aferentes do sistema límbico, cabe lembrar as numerosas

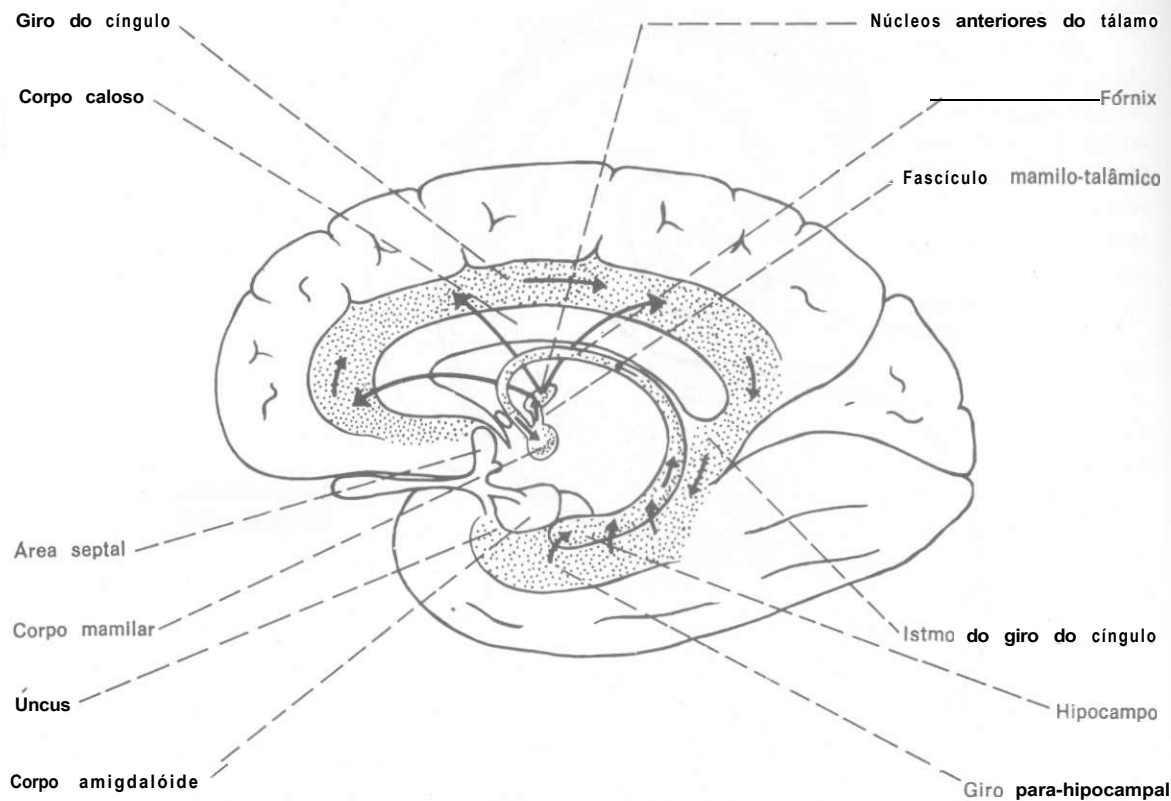



Fig. 28.2 — *Principais componentes do sistema límbico. mostrando-se também o circuito de Papez.*

projeções serotoninérgicas (Fig. 20.1) e dopaminérgicas (Fig. 20.2) que ele recebe da formação reticular e que, segundo parece, exercem ação moduladora sobre a atividade de seus neurônios.

6.3.2.2 — Conexões Eferentes

As conexões eferentes do sistema límbico são importantes porque, através delas, este sistema participa dos mecanismos efetuadores que desencadeiam o componente periférico e expressivo dos processos emocionais e, ao mesmo tempo, controlam a atividade do sistema nervoso autônomo. Essas funções são exercidas fundamentalmente através das conexões que o sistema límbico mantém com o hipotálamo c com a formação reticular do mesencéfalo. As primeiras, já estudadas a propósito do hipotálamo, (Capítulo 23, item 2.1), são especialmente relevantes. Aliás, já foi dito que o hipotálamo é o principal "braço executivo" do sistema límbico. As conexões com a formação reticular do mesencéfalo se fazem basicamente através dc três sistemas de libras (Fig. 28.3):

a) ***feixe*** *prosencefálicomedial* — situado entre a área septal c o tegmento do mesencéfalo, este feixe contém libras que percorrem nos dois sentidos o hipotálamo lateral, onde muitas delas terminam. Ele constitui a principal via de ligação do sistema límbico com a formação reticular;

b) ***fascículo*** *mamilo-tegmentar* — feixe dc libras que dos núcleos mamilares se projeta para a formação reticular do mesencéfalo:

c) ***estria*** *medular* — feixe de fibras que se origina principalmente na área septal c termina nos núcleos habenulares do epitálamo. Estes, por sua vez, ligam-se ao núcleo interpeduncular do mesencéfalo. que sc projeta para a formação reticular.

Como o hipotálamo e a formação reticular têm conexões diretas com os neurônios pré-ganglionares do sistema autônomo, as vias acima descritas permitem ao sistema límbico participar do controle do sistema autônomo, o que é especialmente importante na expressão das emoções.

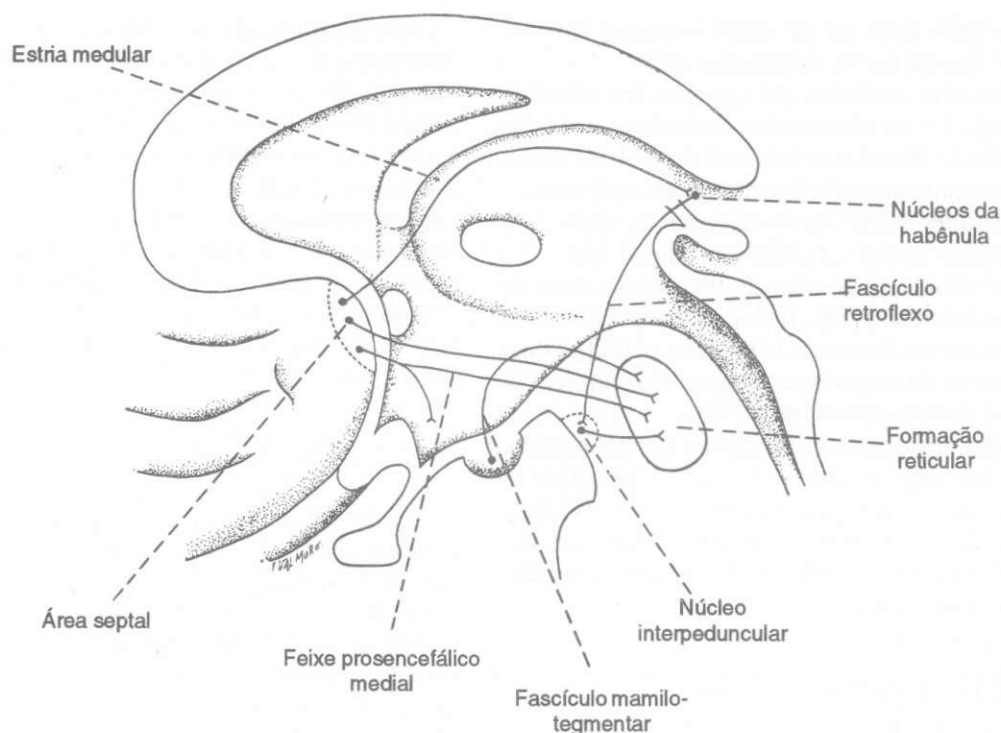



Fig. 2X.3 — *Esquema das conexõesefcrentes do sistema límbico com aformação reticular do mesencéfalo.*

6.4 — FUNÇÕES DO SISTEMA LÍMBICO

Como já foi assinalado, a função mais conhecida do sistema límbico, e que deu origem ao próprio conceito deste sistema, é dc regular os processos emocionais. Intimamente relacionadas com esta função, estão as dc regular o sistema nervoso autônomo e os processos motivacionais essenciais à sobrevivência da espécie e do indivíduo, como fome, sede e sexo. Sabe-se também que alguns componentes do sistema límbico estão ligados diretamente ao mecanismo da memória e aprendi/agem e participam da regulação do sistema endócrino. Algumas dessas funções serão estudadas com mais detalhes a seguir.

6.4.1 — Regulação dos Processos Emocionais e Motivacionais. Síndrome de Klüver e Bucy

No mesmo ano em que Papez publicou seu famoso trabalho relacionando as estruturas límbicas com as emoções, dois cientistas, H. Klüver c P. Bucy, publicaram um trabalho experimental que veio confirmar as idéias de Papez. Estes autores li/eram uma ablação bilateral da parte anterior dos lobos temporais em macacos *Rhesus,* lesando algumas estruturas importantes do sistema límbico, como o hipocampo, o giro para-hipocampal c o corpo amigdalóide. Esta cirurgia resultou na maior modificação do comportamento de um animal até hoje obtida após um procedimento experimental. Estas alterações de comportamento são conhecidas como *síndrome de Klüver e Bucy* e consistem no seguinte:

a) domesticação completa dos animais que usualmente são selvagens c agressivos:
b) perversão do apetite, em virtude da qual os animais passam a alimentar-se de coisas que antes não comiam:
c) agnosia visual manifestada pela incapacidade de reconhecer objetos ou mesmo animais que antes causavam medo. tais como cobras c escorpiões;
d) tendência oral manifestada pelo ato de levar à boca todos os objetos que encontra (inclusive os escorpiões);
e) tendência hipersexual, que leva os animais a tentarem continuamente o ato sexual (mesmo com indivíduos do pró-

prio sexo ou de outra espécie) ou a se masturbarem continuamente.

Convém assinalar que quadros semelhantes a este já foram observados no homem, em conseqüência da ablação bilateral do lobo temporal para tratamento de formas agressivas de epilepsia.

Admite-se que a agnosia visual que ocorre na síndrome de Klüver e Bucy resulta de lesão das áreas visuais de associação localizadas no córtex do lobo temporal. Todos os demais sintomas que ocorrem nessa síndrome são conseqüência de lesões de estruturas do sistema límbico, em especial do corpo amigdalóide.

Estes resultados despertaram grande interesse c levaram muitos cientistas a pesquisar a participação dos componentes do sistema límbico nos fenômenos emocionais. Algumas das evidências encontradas sobre esta participação serão analisadas a seguir.

6.4.1.1 — Corpo Amigdalóide

As funções do corpo amigdalóide ou amígdala são muito variadas, refletindo também sua complexidade estrutural. Lesões ou estimulações desta área cm animais resultam em alterações do comportamento alimentar (afagias c hiperfagias) ou da atividade das vísceras, bastante semelhantes às que se obtêm com procedimentos idênticos feitos no hipotálamo. O registro da atividade elétrica dos neurônios do corpo amigdalóide, tanto no homem como nos animais, evidencia uma ativação em situações com significado emocional, como encontros agressivos ou dc natureza sexual. Embora alguns resultados sejam conflitantes, a maioria das experiências relata que em animais as lesões da amígdala resultam cm uma domesticação do animal com um quadro hipersexual semelhante ao observado na síndrome de Klüver e Bucy. Também no homem lesões bilaterais do corpo amigdalóide resultam em considerável diminuição da excitabilidade emocional dc indivíduos portadores de distúrbios de comportamento, manifestados pela agressividade. Por outro lado, a estimulação do corpo amigdalóide em animais desencadeia comportamentos de fuga ou dc defesa, associados à agressividade. Coerentemente com este fato. no homem, focos epilépticos da região amigdaliana do lobo temporal freqüentemente associam-se a um aumento da agressividade social.

Interessantes são as relações entre o corpo amigdalóide e o medo. Pacientes conscientes submetidos a estimulação elétrica do corpo amigdalóide durante o ato cirúrgico freqüentemente relatam sentimentos não direcionados de medo, geralmente acompanhados de manifestações viscerais características da situação, como dilatação da pupila e aumento do ritmo cardíaco. Já foi visto também que macacos que normalmente têm medo de cobras, depois de sofrerem amigdalectomia, perdem este medo, aproximam-se delas c até as comem.

6.4.1.2 — Área Septal

Lesões bilaterais da área septal em animais causam a chamada "raiva septal", caracterizada por uma hiperatividade emocional, ferocidade e raiva diante de condições que normalmente não modificam o comportamento do animal. Há também um grande aumento da sede. Estimulações da área septal causam alterações da pressão arterial e do ritmo respiratório, mostrando o seu papel na regulação de atividades viscerais. Por outro lado as experiências dc auto-estimulação a serem descritas no próximo item mostram que a área septal é um dos centros do prazer no cérebro.

6.4.1.3 — O Giro do Cíngulo

Verificou-se que a ablação do giro do cíngulo (cingulectomia) cm carnívoros selvagens domestica completamente o animal. No homem, a cingulectomia já foi empregada no tratamento dc psicóticos agressivos. Verificou-se, também, que a simples secção do fascículo do cíngulo (cingulotomia), interrompendo o circuito dc Papez, pode melhorar consideravelmente quadros graves de depressão c ansiedade* dando resultados que, quanto a este aspecto, sc assemelham aos obtidos nas leucotomias frontais.

6.4.1.4 — O Hipocampo

O papel do hipocampo na regulação do comportamento emocional foi inicialmente apontado por Papez, que chamou a atenção para o

* *Para maiores detalhes sobre o assunto, veja fialtatine, H.T.; Cassidy, W.L.; Flanagan, N.B. and MarinoJr. R. — 1967 —* **Journal of Neurosurgery,** *26:488-495.*

aumento da reatividade emocional causada por lesões do hipocampo pelo vírus da raiva. Lesões bilaterais do hipocampo em macacos resultam cm um aumento da agressividade destes animais. Apesar de existirem dados experimentais que conflitamcom este. a participação do hipocampo na regulação do comportamento emocional é hoje geralmente admitida. Outra função importante do hipocampo é a sua participação no fenômeno da memória, o que será estudado no próximo item.

6.4.2 — Participação nos Mecanismos da Memória

Pode-se distinguir dois tipos de memória: memória recente, que permite a retenção de informações durante pouco tempo (horas ou dias), e memória remota, ou permanente, na qual esta retenção pode permanecer por vários anos*. A memória remota é muito estável e mantém-se inalterada mesmo após danos cerebrais graves, enquanto a memória recente é mais lábil e pode ser comprometida em várias situações patológicas. Não se sabe exatamente onde são armazenadas as informações no caso da memória remota, mas admite-se que isso ocorra em áreas de associação do neocórtex. Sabe-se, entretanto, que a memória recente depende do sistema límbico, que está envolvido nos processos de retenção e consolidação dc informações novas e possivelmente também em seu armazenamento temporário e transferência para áreas neocorticais de associação para armazenamento permanente.

A evidência desses fatos veio, principalmente, do estudo de pacientes nos quais foi feita a remoção bilateral de parte do lobo temporal, contendo o hipocampo, na tentativa dc melhorar quadros graves de epilepsia. Esses pacientes tornam-se incapazes de memorizar eventos ou informações surgidos depois do ato cirúrgico, quadro conhecido como *amnésia anterógrada*. Assim, por exemplo, não conseguem entender uma história ou uma novela de televisão, pois não são capazes de memorizar os nomes dos personagens ou os eventos que precederam aquele quc está lendo ou vendo.

Tipicamente, há também perda de memória para fatos ocorridos pouco antes da cirurgia *(amnésia retrógrada),* mas, curiosamente, depois de um certo ponto no passado todos os fatos podem ser lembrados sem problemas, ou seja, a memória antiga permanece normal. Certas habilidades motoras podem também ser aprendidas, pois, como já foi visto (Capítulo 22 item 704), a aprendizagem motora depende do cerebelo. Sabe-se hoje que a síndrome amnésica observada nesses casos se deve não só à remoção do hipocampo mas também à lesão do corpo amigdalóide, que participa dos mecanismos relacionados com a memória. Assim, a destruição do hipocampo em macacos causa um quadro moderado de amnésia, que se torna muito mais grave, quando, simultaneamente, se destrói também o corpo amigdalóide. Síndromes amnésicas semelhantes à acima descrita têm sido assinaladas, no homem, em conseqüência de processos patológicos que acometem o sistema límbico, não só em seus componentes no lobo temporal, mas também no fórnix e no corpo mamilar. É bem conhecida a síndrome de Korsakoff, que resulta da degeneração dos corpos mamilares em conseqüência de alcoolismo crônico e na qual a amnésia anterógrada é o sintoma mais importante.

Outro quadro clínico em que ocorrem graves problemas de memória é a doença de Alzheimer (veja Capítulo 28, item 3.0), na qual há perda gradual da memória recente, seguida, nas fases mais avançadas, de uma completa deterioração de todas as funções psíquicas com amnésia total. Parece que os problemas de memória nesta doença se devem a dois fatores principais. Um deles, já estudado (Capítulo 28, item 3.0), é a degeneração dos neurônios colinérgicos do núcleo basal de Meynert. Isso leva a uma perda das fibras colinérgicas, que exercem ação moduladora sobre a atividade dos neurônios do sistema límbico e do neocórtex relacionados com a memória. Outro fator, provavelmente mais importante, descoberto recentemente*, é a degeneração seletiva dc dois grupos de neurônios do sistema límbico. Um deles localiza-se no hipocampo, nas áreas que dão origem às principais fibras eferentes desse órgão; o outro localiza-se na chamada área entorrinal, no giro

---

* *Alguns admitem também a existência de uma memória imediata cm que a retenção de informações dura apenas algum segundos.*

* *Hyman,* B.T.; *van Hoesen, G.W.; Damasio, A.R. & Barnes, C.L— 1984* — Science *225:1168-1170.*

para-hipocampal, que constitui a porta de entrada das vias que, do neocórtex, se dirigem a esse giro e daí ao hipocampo. Desse modo, essas lesões gradualmente levam a um total isolamento do hipocampo, com conseqüências sobre a memória que equivalem às que vimos acima para os casos dc ablação do hipocampo.

Embora a participação do sistema límbico, em especial do hipocampo e da amígdala, no processo de consolidação da memória recente e sua transformação cm memória remota seja hoje geralmente aceita, não sc sabe exatamente como isto se faz. A hipótese mais tradicional é a apresentada acima, ou seja, a memória recente é armazenada temporariamente no hipocampo e na amígdala, sendo depois transferida para o neocórtex para armazenamento permanente. Outra hipótese é que a memória recente já de início estaria no neocórtex, onde seria gradualmente consolidada c transformada cm memória remota por ação do hipocampo e da amígdala*, agindo através dc suas conexões com o neocórtex.

7.0 — CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do que foi exposto, verifica-se que as áreas encefálicas relacionadas com o comportamento emocional ocupam territórios muito amplos do telencéfalo c do diencéfalo, nos quais sc encontram as estruturas que integram o sistema límbico. a área pré-frontal e o hipotálamo. Além de sua participação nos fenômenos emocionais, estas áreas regulam as atividades viscerais através do sistema nervoso autônomo. Verificou-se, assim, que estimulações elétricas em várias áreas do hipotálamo, da área pré-frontal ou do sistema límbico determinam manifestações viscerais diversas, tais como salivação, sudorese, dilatação pupilar, modificações do ritmo cardíaco ou respiratório. O fato de que as mesmas áreas encefálicas que regulam o comportamento emocional também regulam o sistema nervoso autônomo sc torna mais significativo sc considerarmos que as emoções sc expressam cm grande parte através de manifestações viscerais (choro no homem, aumento de salivação e eriçar dos pêlos em um gato com raiva) e são geralmente acompanhadas de alterações da pressão arterial, do ritmo cardíaco ou do ritmo respiratório. Torna-se mais fácil entender, também, que muitos distúrbios emocionais resultam em afecções viscerais, sendo um exemplo clássico o caso das úlceras gástricas e duodenais. Estas inclusive podem ser provocadas por estimulações crônicas do hipotálamo.

Merece consideração especial o problema das localizações funcionais no hipotálamo, sistema límbico e na área pré-frontal. Essas localizações, de um modo geral, são pouco precisas e, no que se refere às manifestações viscerais, são muito menos precisas do que as existentes em áreas relacionadas com a regulação de funções somáticas. No hipotálamo pode-se distinguir uma área predominantemente simpática (hipotálamo posterior) e outra predominantemente parassimpática (hipotálamo anterior); o mesmo não ocorre na área pré-frontal ou no sistema límbico. Com eleito, estimulações em uma determinada área límbica podem resultar inicialmente em hipertensão seguida de hipotensão. Lesões ou estimulações de uma mesma área podem resultar em fenômenos muito diferentes, como diminuição da agressividade e aumento da atividade sexual. Por outro lado, o mesmo tipo de fenômeno, como aumento da agressividade, pode resultar de lesões em territórios diferentes e, às vezes, distantes, como o núcleo ventral medial do hipotálamo e a área septal. Admite-se que isto se deva ao fato de que a regulação de muitos tipos dc comportamento c atividades viscerais depende não de áreas isoladas e estanques, mas de circuitos que podem envolver áreas muito distantes.

A propósito das localizações funcionais no hipotálamo e no sistema límbico, cabe uma referência às experiências de auto-estimulação que permitiram a localização dc "áreas do prazer" no cérebro. Estas experiências foram realizadas pela primeira vez por Olds e Milner cm ratos nos quais foram implantados cronicamente eletrodos em várias partes do cérebro. Pressionando uma alavanca, os animais podiam estimular eletricamente uma determinada área do próprio cérebro, havendo ainda um dispositivo capaz de registrar automaticamente o número de estimulações por minuto. Com este método, verificou-se que os animais evitam estimular determinadas áreas do cérebro *(áreas de*

* *Para mais informações sobre este assunto, assim como outros problemas relacionados com a memória, veja Squire, L.R. — 1987 —* Memory and Brain. *Oxford Univ. Press, Oxford, 315 PP*

punição), mas estimulam com uma freqüência muito alta um grande número de áreas *(áreas de recompensa),* onde, segundo se admite, a estimulação resulta em prazer para o animal. O número de estimulações em algumas áreas atinge 8.000 por hora, ocupando todo o tempo do animal, que deixa de ingerir água ou alimento estimulando-se até a exaustão. Com esta técnica, verificou-se que as áreas de recompensa são em número muito maior do que as áreas de punição, localizando-se principalmente no sistema límbico e no hipotálamo. Entre as áreas que determinam estimulações com freqüência mais elevada destacam-se a área septal e as regiões percorridas pelo feixe prosencefálico medial. De um modo geral, as áreas de recompensa do cérebro correspondem às áreas relacionadas com os processos motivacionais primários, como a fome, a sede e o sexo. Com base nisto, admite-se que a auto-estimulação causaria nos animais uma sensação de prazer que seria semelhante à sentida quando o animal satisfaz sua fome, sua sede ou sua necessidade sexual. Esta hipótese foi em parte confirmada em experiências de auto-estimulação realizadas em pacientes humanos, como tentativa de tratamento de doenças mentais.

Do ponto de vista neuroquímico, as áreas encefálicas relacionadas com o comportamento emocional são muito importantes porque apresentam enorme diversidade de substâncias ativas, destacando-se os peptídeos, os opiáceos e as monoaminas, estas, como já foi visto, originadas em grande parte de neurônios do tronco encefálico. A riqueza dessas áreas em monoaminas, em especial, noradrenalina, serotonina c dopamina, é muito significativa, tendo em vista que muitos medicamentos usados em psiquiatria para tratamento de distúrbios do comportamento e da afetividade agem modificando o teor de monoaminas cerebrais. Sabe-se também que muitos neurônios do hipotálamo e do sistema límbico possuem receptores para hormônios circulantes, em especial hormônios sexuais, que, assim, são capazes de modular a atividade desses neurônios e influenciar os processos emocionais e motivacionais que eles regulam.

Pesquisas recentes indicam também que substâncias ativas presentes no sistema límbico, como algumas monoaminas e o opióide endógeno beta-endorfina, exercem uma ação moduladora sobre a memória, podendo facilitar ou inibir o processo de memorização*.

---

* *A descoberta do papel da beta-endorfina na modulação da memória deve-se ao neuroquímico Iván Izquierdo* (Psychopharmacology, *66:199-203, 1979). Para mais informações sobre este assunto, veja Izquierdo, I. — 1983* — Ciência Hoje *2, nº 8:27-31 e Izquierdo, I. — 1986 —* Ciência Hoje *5, nº 25:81-84.*

Capítulo 29

Grandes Vias Aferentes

1.0 — GENERALIDADES

Neste capítulo serão estudadas as grandes vias aferentes, ou seja, aquelas que levam aos centros nervosos supra-segmentares os impulsos nervosos originados nos receptores periféricos. Este assunto já foi objeto de considerações nos capítulos anteriores, a propósito da estrutura e função de cada parte do neuro-eixo, e será agora revisto em conjunto, de uma maneira sintética e esquemática. Não serão estudadas as vias reflexas, em geral mais curtas, formadas por fibras ou colaterais que se destacam das grandes vias aferentes e fazem sinapse com o sistema eferente, fechando arcos reflexos, ora mais, ora menos complexos. O estudo das grandes vias aferentes é um dos capítulos mais importantes da neuroanatomia, em vista de suas inúmeras aplicações práticas. Em cada uma das vias aferentes deverão ser estudados os seguintes elementos: o receptor, o trajeto periférico, o trajeto central e a área de projeção cortical.

a) *o receptor* — é sempre uma terminação nervosa sensível ao estímulo que caracteriza a via. Assim, tradicionalmente admite-se a especificidade dc receptor, ou seja, a existência de receptores especializados para cada uma das modalidades dc sensibilidade. A conexão deste receptor, por meio de fibras específicas, com uma área específica do córtex, permite o reconhecimento das diferentes formas de sensibilidade (discriminação sensorial);

b) *o trajeto periférico* — compreende um nervo espinhal ou craniano e um gânglio sensitivo anexo a este nervo. Dc um modo geral, nos nervos que possuem libras com funções diferentes, elas se misturam aparentemente ao acaso:

c) *o trajeto central* — no seu trajeto pelo sistema nervoso central, as libras que constituem as vias aferentes sc agrupam em feixes (tractos, fascículos, lemniscos) de acordo com suas funções. O trajeto central das vias aferentes compreende ainda núcleos relés, onde sc localizam os neurônios dc associação (II, III ou IV) da via considerada;

d) *a área de projeção cortical* — está no córtex cerebral ou no córtex cerebelar; no primeiro caso, a via nos permite distinguir os diversos tipos de sensibilidade — é consciente; no segundo caso, ou seja, quando a via termina no córtex cerebelar, o impulso não determina qualquer manifestação sensorial c é utilizado pelo cerebelo para realização dc sua função primordial dc integração motora — a via é inconsciente.

As grandes vias aferentes podem, pois, ser consideradas como cadeias neuronais, unindo os receptores ao córtex. No caso das vias inconscientes, esta cadeia é constituída apenas por dois neurônios (I, II). Já nas vias conscientes, estes neurônios são geralmente três, sobre os quais podem ser estabelecidos os seguintes princípios gerais:

a) *neurônio I* — localiza-se geralmente fora do sistema nervoso central cm um gânglio

sensitivo (ou na retina e mucosa olfatória, no caso das vias óptica e olfatória). É um neurônio sensitivo, em geral pseudo-unipolar, cujo dendraxônio se bifurca em "T", dando um prolongamento periférico c outro central. O prolongamento periférico liga-se ao receptor, enquanto o prolongamento central penetra no sistema nervoso central pela raiz dorsal dos nervos espinhais ou por um nervo craniano;

b) *neurônio II* — localiza-se na coluna posterior da medula ou em núcleos de nervos cranianos do tronco encefálico (fazem exceção as vias óptica e olfatória). Origina axônios que geralmente cruzam o plano mediano logo após sua origem e entram na formação de um tracto ou lemnisco;

c) *neurônio III* — localiza-se no tálamo e origina um axônio que chega ao córtex por uma radiação talâmica (faz exceção a via olfatória).

No estudo das grandes vias aferentes levaremos sempre em conta a posição e o trajeto dos axônios destes três neurônios. Serão estudadas, separadamente, as vias aferentes do tronco e membros que penetram no sistema nervoso central pelos nervos espinhais e aquelas da cabeça que penetram por nervos cranianos.

2.0 — VIAS AFERENTES QUE PENETRAM NO SISTEMA NERVOSO CENTRAL POR NERVOS ESPINHAIS

2.1 — VIAS DE DOR E TEMPERATURA

Embora tenha sido durante muito tempo assunto controvertido, sabe-se hoje que tanto os receptores para temperatura como para dor são terminais nervosos livres. Nos últimos anos, as vias de dor e temperatura têm sido objeto de um grande número de pesquisas que mudaram consideravelmente algumas das idéias clássicas sobre o assunto. Assim, sabe-se hoje que existem duas vias principais através das quais os impulsos de dor e temperatura chegam ao sistema nervoso supra-segmentar: uma via filogeneticamente mais recente, neoespino-talâmica, constituída pelo tracto espino-talâmico lateral, e outra, mais antiga, *pale oespino-talâmica*, constituída pelo tracto espino-reticular, e as fibras reticulo-talâmicas *(via espino-retículo-talâmicas)*. Como será visto, essas duas vias veiculam formas diferentes de dor e serão estudadas de maneira esquemática a seguir.

2.1.1 — Via Neoespino-Talâmica (Figs. **15.5, 29.1)**

Trata-se da via "clássica" de dor e temperatura, constituída basicamente pelo tracto espino-talâmico lateral envolvendo uma cadeia de três neurônios.

Neurônios I — localizam-se nos gânglios espinhais situados nas raízes dorsais. O prolongamento periférico de cada um destes neurônios liga-se aos receptores através dos nervos espinhais. O prolongamento central penetra na medula pela divisão lateral da raiz dorsal, bifurca-se em um ramo descendente curto c um ramo ascendente longo (que forma o fascículo dorsolateral), terminando ambos na coluna posterior, onde fazem sinapse com os neurônios II (Fig. 15.5). Há evidência de que o neurotransmissor liberado nesta sinapse é um neuropeptídeo, a substância P.

Neurônios II — estão localizados na coluna posterior, principalmente na lâmina I de Rexed. Seus axônios cruzam o plano mediano, pela comissura branca, ganham o funículo lateral do lado oposto, inflectem-se cranialmente para coastituir o tracto espino-talâmico lateral (Fig. 15.6). Ao nível da ponte, as fibras desse tracto se unem com as do espino-talâmico anterior para constituir o lemnisco espinhal, que termina no tálamo fazendo sinapse com os neurônios III.

Neurônios III — localizam-se no tálamo, principalmente no núcleo ventral póstero-lateral. Seus axônios formam radiações talâmicas que, pela cápsula interna e coroa radiada, chegam à área somestésica do córtex cerebral situada no giro pós-central (áreas 3,2 e 1 de Brodmann)*.

Através dessa via chegam ao córtex cerebral impulsos originados em receptores térmicos e dolorosos situados no tronco e nos membros do lado oposto. A via é somatotópica, ou seja, a representação das diferentes partes do corpo

---

**Sabe-se que* algumas radiações talâmicas de temperatura e dor terminam na área somestésica II, pequena região situada abaixo da área somestésica I, na borda inferior do giro pós-central, onde a representação das partes do corpo é bilateral.*

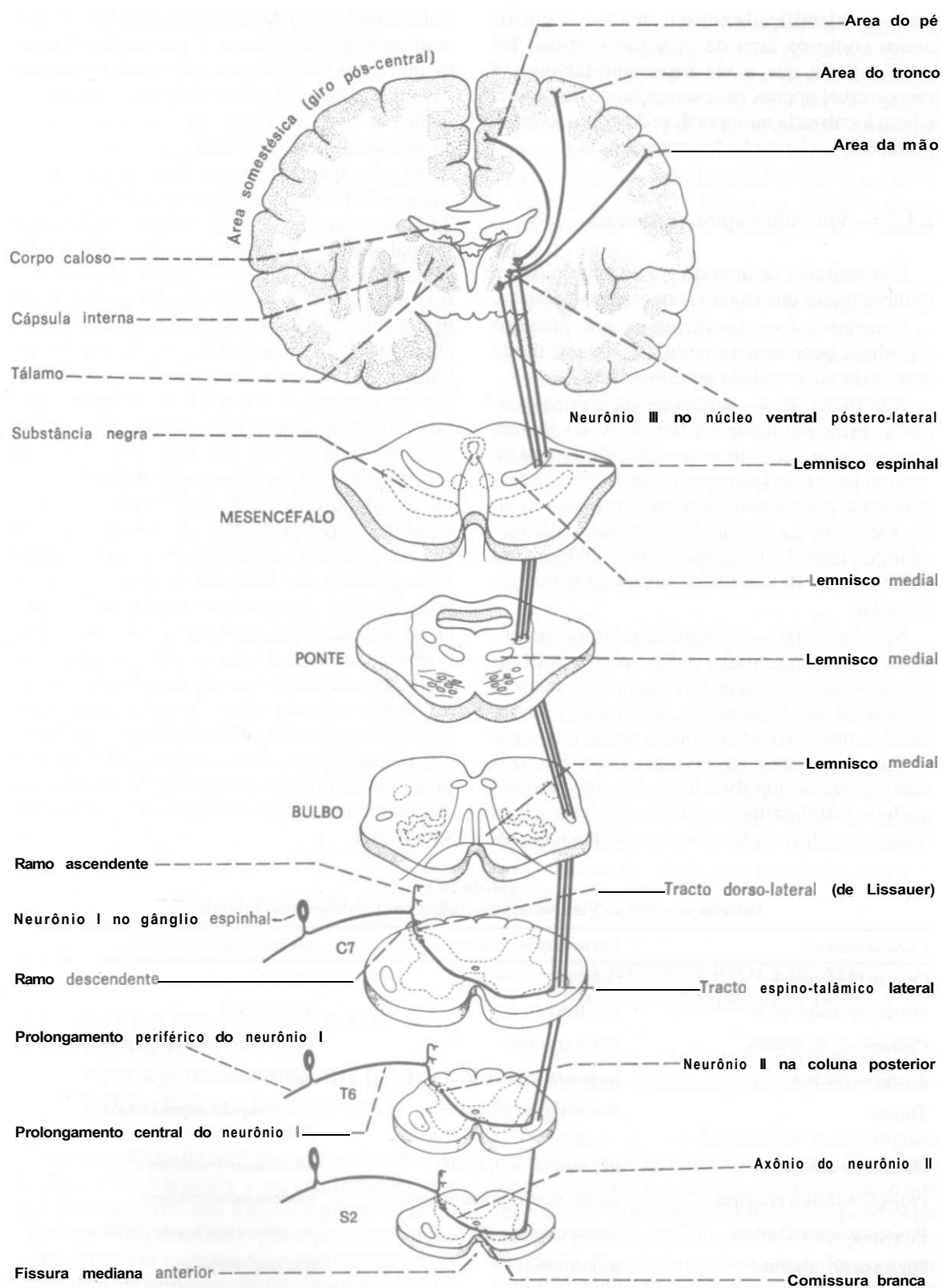



Fig. 29.1 — *Representação esquemática da via neoespino-talâmica de temperatura c dor.*

pode ser identificada em seus núcleos e tractos assim como na área de projeção cortical. Há evidência de que a via neoespino-talâmica é responsável apenas pela sensação de dor aguda e bem localizada na superfície do corpo, correspondendo à chamada dor em pontada.

2.1.2 — Via Paleoespino-Talâmica

É constituída de uma cadeia de neurônios em número maior que os da via neoespino-talâmica

Neurônios I — localizam-se nos gânglios espinhais, penetram na medula do mesmo modo que os da via estudada anteriormente.

Neurônios II — situam-se na coluna posterior, principalmente na lâmina V de Rexed. Seus axônios dirigem-se ao funículo lateral do mesmo lado e do lado oposto, inflectem-se cranialmente para constituir o tracto espino-reticular. Este sobe na medula junto ao tracto espino-talâmico lateral e termina fazendo sinapse com os neurônios III em vários níveis da formação reticular.

Neurônios III — os neurônios III localizam-se na formação reticular e dão origem às fibras reticulo-talâmicas que terminam nos núcleos intralaminares do tálamo (neurônios IV). Entretanto, o mais provável é que o número de neurônios reticulares envolvidos nessa via seja maior e que os impulsos nervosos cheguem aos núcleos intralaminares do tálamo após várias sinapses na formação reticular. Os núcleos, intralaminares, projetam-se para territórios muito amplos do córtex cerebral. É provável, entretanto, que essas projeções estejam mais relacionadas com a ativação cortical do que com a sensação de dor, uma vez que estas se tornam conscientes já em nível talâmico.

As principais diferenças entre as vias neo e paleotalâmicas estão esquematizadas na Tabela 29.1. Ao contrário da via neoespino-talâmica, a via paleoespino-talâmica não tem organização somatotópica. Assim, ela é responsável por um tipo de dor pouco localizada, dor profunda do tipo crônico, correspondendo à chamada dor em queimação, ao contrário da via neoespino-talâmica, que veicula dores localizadas do tipo dor em pontada. Nas cordotomias ântero-laterais (cirurgias usadas para tratamento da dor), os dois tipos de dor são abolidos, pois são seccionadas tanto as fibras espino-talâmicas como as espino-reticulares. Entretanto, para abolição das dores profundas de origem visceral, são necessárias cordotomias bilaterais visando lesar também as fibras paleoespino-talâmicas homolaterais. Lesões e stereotáxicas dos núcleos talâmicos em pacientes com dores intratáveis decorrentes de câncer comprovam a dualidade funcional das vias da dor. Assim, a lesão do núcleo ventral póstero-lateral (via neoespino-talâmica) resulta em perda da dor superficial em pontada, mas deixa intacta a dor crônica profunda. Esta é abolida com lesão dos núcleos intralaminares, o que, entretanto, não afeta a dor superficial.

Tabela 29.1
Diferenças entre as Vias Neoespino-Talâmicas e Paleoespino-Talâmicas

Características	*Via neoespino-talâmica*	*via paleoespino-talâmica*
Origem filogenética	recente	antiga
Posição do neurônio II	I de Rexed	V de Rexed
Cruzamento na medula	fibras cruzadas	fibras cruzadas e não cruzadas
Tracto na medula	espino-talâmico lateral	espino-reticular
Trajeto	direto: espino-talâmico	interrompido: espino-retículo-talâmico
Número de neurônios	três neurônios (I, II, III)	no mínimo **4** neurônios
Projeção talâmica principal	núcleo ventral póstero-lateral	núcleos intralaminares
Projeções supratalâmicas	área somestésica	territórios amplos do córtex cerebral
Organização funcional	somatotópica	não somatotópica
Função	dor aguda e bem localizada	dor crônica e difusa (dor em queimação)

2.2 — VIA DE PRESSÃO E TATO PROTOPÁTICO (Figs. 15.5, 29.2)

Os receptores de pressão e tato são tanto os corpúsculos de Meissner como os de Ruffini. Também são receptores táteis as ramificações dos axônios em torno dos folículos pilosos.

Neurônios I — localizam-se nos gânglios espinhais situados nas raízes dorsais. O prolongamento periférico destes neurônios liga-se ao receptor, enquanto o central penetra na medula pela divisão medial da raiz dorsal c divide-se em um ramo ascendente muito longo e um ramo descendente curto, terminando ambos na coluna posterior em sinapse com os neurônios II (Fig. 15.5).

Neurônios II — localizam-se na coluna posterior da medula. Seus axônios cruzam o plano mediano na comissura branca, atingem o funículo anterior do lado oposto onde se inflectem cranialmente para constituir o tracto espino-talâmico anterior (Fig. 15.5). Este, ao nível da ponte, une-se ao espino-talâmico lateral para formar o lemnisco espinhal, cujas fibras terminam no tálamo fazendo sinapse com os neurônios III.

Neurônios III — localizam-se no núcleo ventral póstero-lateral do tálamo. Originam axônios que formam radiações talâmicas que, passando pela cápsula interna e coroa radiada, atingem a área somestésica do córtex cerebral (Fig. 29.2).

Por este caminho chegam ao córtex os impulsos originados nos receptores de pressão e de tato situados no tronco e nos membros. Entretanto, como no caso anterior, estes impulsos tornam-se conscientes já em nível talâmico.

2.3 — VIA DE PROPRIOCEPÇÃO CONSCIENTE, TATO EPICRÍTICO E SENSIBILIDADE VIBRATÓRIA (Figs. 15.5, 29.3)

Os receptores de tato são os corpúsculos dc Ruffini e de Meissner e as ramificações dos axônios em torno dos folículos pilosos. Os receptores responsáveis pela propriocepção consciente são os fusos neuromusculares e órgãos neurotendinosos. Já os receptores para a sensibilidade vibratória são os corpúsculos de Vater Paccini.

Neurônios I — localizam-se nos gânglios espinhais. O prolongamento periférico destes neurônios liga-se ao receptor, o prolongamento central penetra na medula pela divisão medial da raiz posterior e divide-se em um ramo descendente curto e um ramo ascendente longo, ambos situados nos fascículos grácil e cuneiforme (Fig. 15.5), os ramos ascendentes terminam no bulbo fazendo sinapse com os neurônios II.

Neurônios II — localizam-se nos núcleos grácil e cuneiforme do bulbo. Os axônios destes neurônios mergulham ventralmente, constituindo as fibras arqueadas internas, cruzam o plano mediano e a seguir inflectem-se cranialmente para formar o lemnisco medial (Fig. 29.3). Este termina no tálamo fazendo sinapse com os neurônios III.

Neurônios III — estão situados no núcleo ventral póstero-lateral do tálamo, originando axônios que constituem radiações talâmicas que chegam à área somestésica passando pela cápsula interna e coroa radiada (Fig. 29.3).

Por esta via chegam ao córtex impulsos nervosos responsáveis pelo tato epicrítico, a propriocepção consciente (ou cinestesia) e a sensibilidade vibratória (Capítulo 15, item 4.3.2.1). O tato epicrítico e a propriocepção consciente permitem ao indivíduo a discriminação de dois pontos c o reconhecimento da forma e tamanho dos objetos colocados na mão (estereognosia). Os impulsos que seguem por esta via se tornam coascientes exclusivamente em nível cortical, ao contrário das duas vias estudadas anteriormente.

2.4 — VIA DE PROPRIOCEPÇÃO INCONSCIENTE (Figs. 15.5)

Os receptores são os fusos neuromusculares e órgãos neurotendinosos situados nos músculos e tendões.

Neurônios I — localizam-se nos gânglios espinhais situados nas raízes dorsais. O prolongamento periférico destes neurônios liga-se aos receptores. O prolongamento central penetra na medula pela divisão medial da raiz posterior, divide-se em um ramo ascendente longo e um ramo descendente curto, que terminam fazendo sinapse com os neurônios II da coluna posterior ou no núcleo cuneiforme acessório do bulbo.

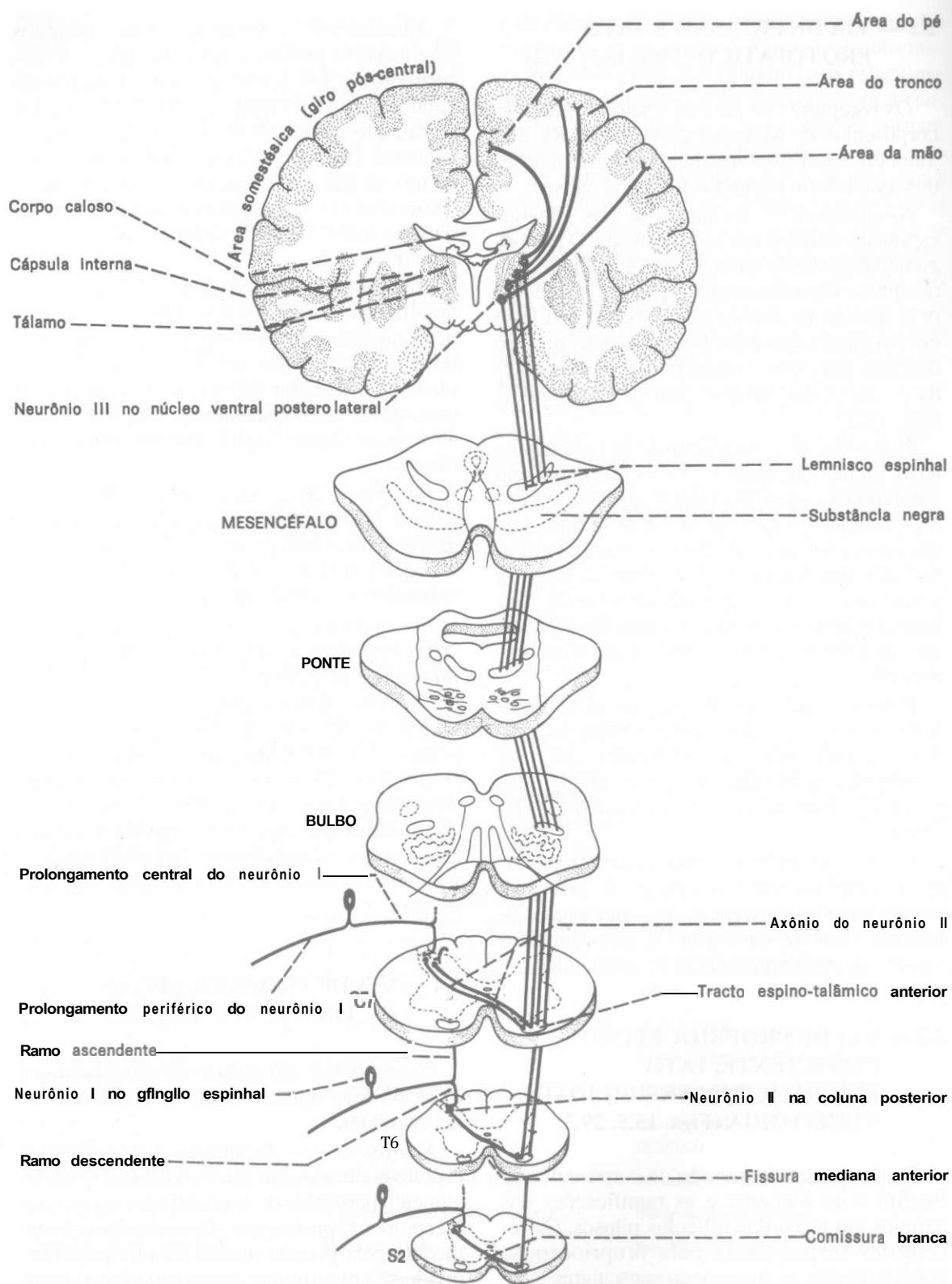



Fig. 29.2 — *Representação esquemática da via de pressão e tato protopático.*

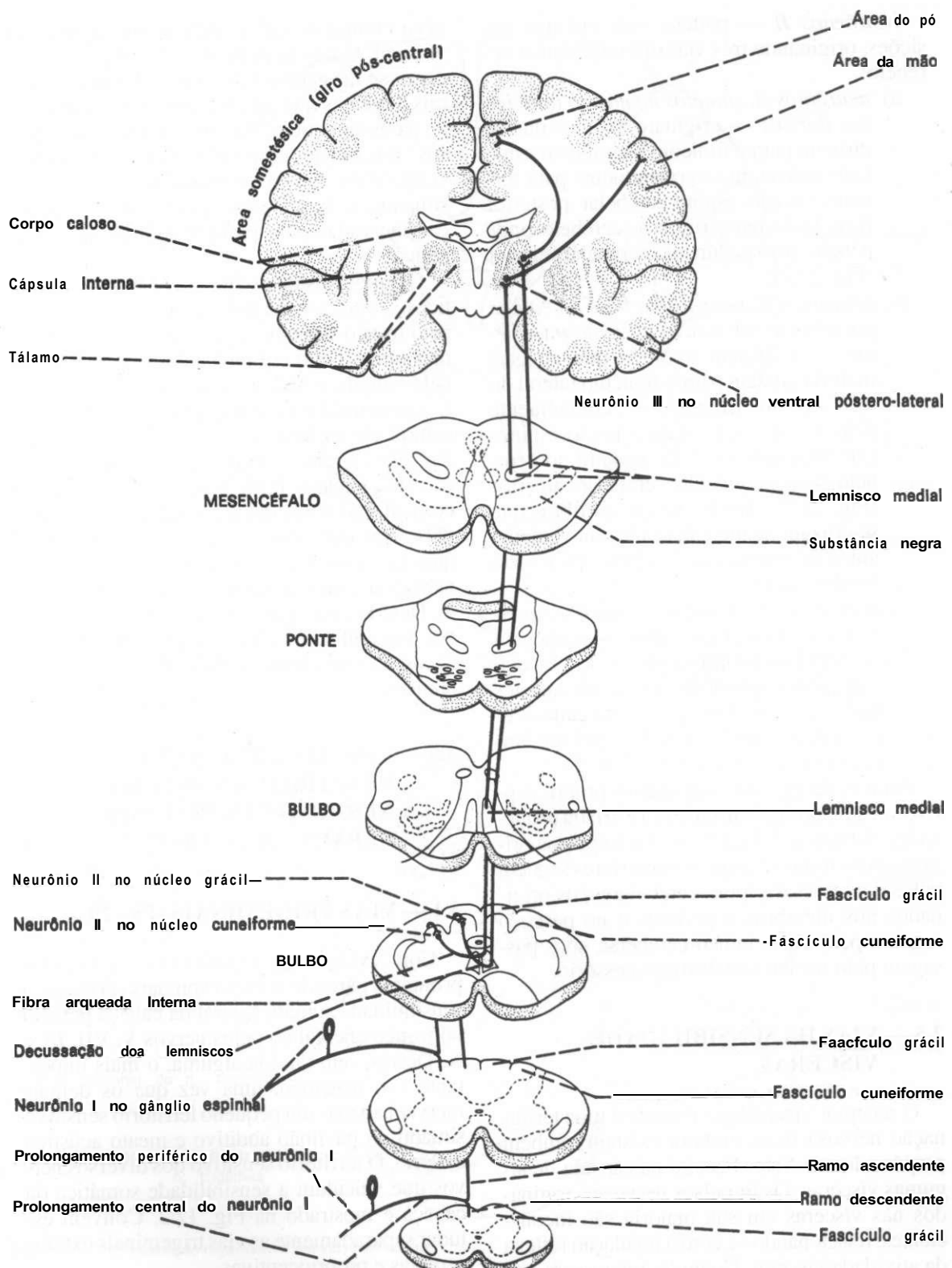



Fig. 29.3 — *Representação esquemática da via de propriocepção consciente, tato epicrítico e sensibilidade vibratória.*

Neurônios II — podem estar em três posições, originando três vias diferentes até o cerebelo:

a) *neurônios II. situados no núcleo torácico (ou dorsal)* — originam axônios que se dirigem para o funículo lateral do mesmo lado, inflectem-se cranialmente para formar o tracto espino-cerebelar posterior (Fig. 15.5), que termina no cerebelo, onde penetra pelo pedúnculo cerebelar inferior (Fig. 22.7);
b) *neurônios II. situados na base da coluna posterior e substância cinzenta intermédia* — originam axônios que em sua maioria cruzam para o funículo lateral do lado oposto, inflectem-se cranialmente (Fig. 15.5) constituindo o tracto espino-cerebelar anterior. Este penetra no cerebelo pelo pedúnculo cerebelar superior (Fig. 22.7). Admite-se que as fibras que se cruzam na medula cruzam novamente antes de penetrar no cerebelo, pois a via é homolateral.
c) *neurônios II. situados no núcleo cuneiforme acessório do bulbo* — aí chegam os impulsos proprioceptivos do pescoço e membros superiores. Os axônios destes neurônios constituem o tracto cuneo-cerebelar, que entra no cerebelo pelo pedúnculo cerebelar inferior (Fig. 16.5).

Através destas vias, os impulsos proprioceptivos originados na musculatura estriada esquelética chegam até o cerebelo. Os impulsos originados no tronco e membros inferiores seguem pelos dois tractos espino-cerebelares; os originados nos membros superiores e no pescoço seguem pelo tracto cuneo-cerebelar, após passagem pelo núcleo cuneiforme acessório.

2.5 — VIAS DA SENSIBILIDADE VISCERAL

O receptor visceral geralmente é uma terminação nervosa livre, embora existam também corpúsculos de Vater Paccini na cápsula de algumas vísceras. Os impulsos nervosos originados nas vísceras em sua maioria são inconscientes, relacionando-se com a regulação reflexa da atividade visceral. Contudo, interessam-nos principalmente agora aqueles que atingem níveis mais altos do neuroeixo e se tornam conscientes, sendo mais importantes do ponto de vista clínico os que sc relacionam com a dor visceral. O trajeto periférico dos impulsos viscerais se faz geralmente através de fibras viscerais aferentes que percorrem nervos simpáticos ou parassimpáticos. No que se refere aos impulsos relacionados com a dor visceral, há evidência que eles seguem, principalmente, por nervos simpáticos, fazendo exceção as vísceras pélvicas inervadas pela parte sacral do parassimpático*.

Os impulsos que seguem por nervos simpáticos, como os nervos esplâncnicos, passam pelo tronco simpático, ganham os nervos espinhais pelo ramo comunicante branco, passam pelo gânglio espinhal, onde estão os neurônios I, e penetram na medula pelo prolongamento central destes neurônios. Os trajetos centrais das vias aferentes viscerais, bem como a posição dos núcleos relés e da área de projeção cortical, são ainda discutidos. No caso dos impulsos relacionados com a dor visceral, sabe-se que eles seguem pelos tractos espino-talâmicos laterais situados do mesmo lado e do lado oposto. Devido a isto, para o tratamento cirúrgico da dor visceral feito através das cordotomias, é necessário seccionar os dois tractos espino-talâmicos.

3.0 — VIAS AFERENTES QUE PENETRAM NO SISTEMA NERVOSO CENTRAL POR NERVOS CRANIANOS

3.1 — VIAS TRIGEMINAIS (Fig. 29.4)

Com exceção do território inervado pelos primeiros pares de nervos espinhais cervicais, a sensibilidade somática geral da cabeça penetra no tronco encefálico pelos nervos V, VII, IX e X. Destes, sem dúvida alguma, o mais importante é o trigêmeo, uma vez que os demais inervam apenas um pequeno território sensitivo situado no pavilhão auditivo e meato acústico externo. O território sensitivo dos diversos nervos que veiculam a sensibilidade somática da cabeça é mostrado na Fig. 12.2. Convém estudar separadamente as vias trigeminais exteroceptivas e proprioceptivas.

---

* *Admite-se que o nervo vago tem pouco ou nenhuma importância na condução de impulsos dolorosos de origem visceral.*

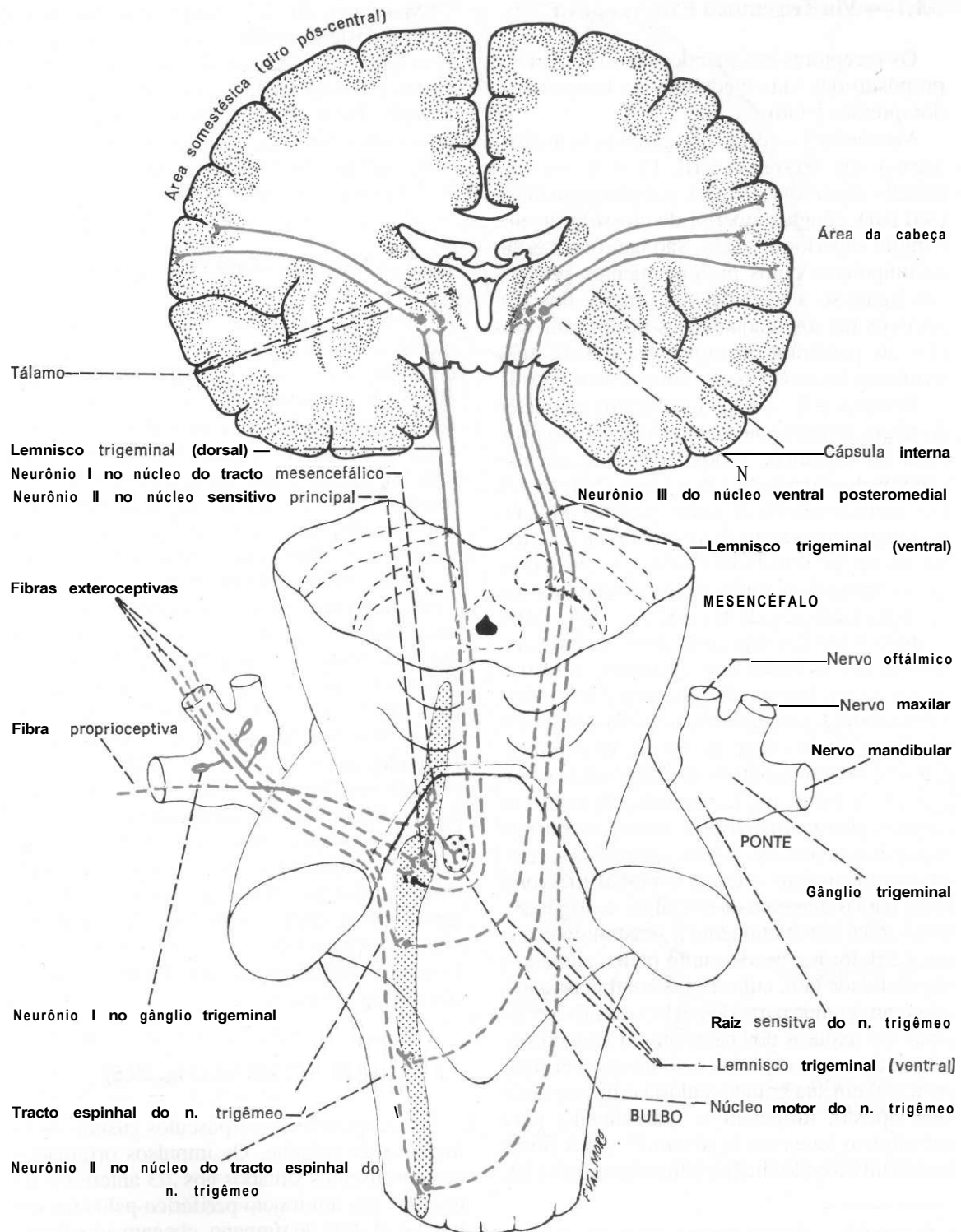



Fig. 29.4 — *Representação esquemática das vias trigeminais.*

3.1.1 — Via Trigeminal Exteroceptiva

Os receptores são idênticos aos estudados a propósito das vias medulares de temperatura, dor, pressão e tato.

Neurônios I — estão nos gânglios sensitivos anexos aos nervos V, VIII, IX e X, ou seja: gânglio trigeminal (V par), gânglio geniculado (VII par), gânglio superior do glossofaríngeo e gânglio superior do vago. São neurônios pseudo-unipolares cujos prolongamentos periféricos ligam-se aos receptores através dos respectivos nervos, enquanto os prolongamentos centrais penetram no tronco encefálico, onde terminam fazendo sinapse com os neurônios II.

Neurônios II — estão localizados no núcleo do tracto espinhal ou no núcleo sensitivo principal do trigêmeo. Todos os prolongamentos centrais dos neurônios I dos nervos VII, IX e X terminam no núcleo do tracto espinhal do V. Os prolongamentos centrais do V par podem terminar no núcleo sensitivo principal, no núcleo do tracto espinhal ou então bifurcar dando um ramo para cada um destes núcleos (Fig. 29.4). Embora o assunto seja ainda controvertido, admite-se que as Fibras que terminam exclusivamente no núcleo sensitivo principal levam impulsos de tato discriminativo (epicrítico); as que terminam exclusivamente no núcleo do tracto espinhal levam impulsos de temperatura e dor, e as que se bifurcam, terminando em ambos os núcleos, provavelmente relacionam-se com tato protopático e pressão. Assim, quando se secciona cirurgicamente o tracto espinhal (tractotomia), para tratamento da nevralgia do trigêmeo, desaparece completamente a sensibilidade térmica e dolorosa, sendo muito pouco alterada a sensibilidade tátil, cujas libras continuam a terminar em grande parte do núcleo sensitivo principal. Os axônios dos neurônios II situados no núcleo do tracto espinhal e no núcleo sensitivo principal em sua grande maioria cruzam para o lado oposto, inflectem-se cranialmente para constituir o *lemnisco trigeminal**, cujas fibras terminam fazendo sinapse com os neurônios III.

Neurônios III — localizam-se no núcleo ventral póstero-medial do tálamo. Originam fibras que, como radiações talâmicas, ganham o córtex passando pela cápsula interna e coroa radiada. Estas fibras terminam na porção da área somestésica que corresponde à cabeça, ou seja, na parte inferior do giro pós-central (áreas 3, 2 e 1 de Brodmann).

3.1.2 — Via Trigeminal Proprioceptiva

Ao contrário do que ocorre nas vias já estudadas, os *neurônios I* da via proprioceptiva do trigêmeo não estão cm um gânglio e sim no núcleo do tracto mesencefálico. Os neurônios deste núcleo têm, por coaseguinte, o mesmo valor funcional de células ganglionares. São neurônios idênticos aos ganglionares, de corpo muito grande e do tipo pseudo-unipolar. O prolongamento periférico destes neurônios liga-se a fusos neuromusculares situados na musculatura mastigadora, mímica e da língua. Liga-se também a receptores na articulação temporomandibular e nos dentes, os quais veiculam informações sobre a posição da mandíbula e a força da mordida. A maioria dos prolongamentos centrais destes neurônios estabelece sinapse com neurônios do núcleo motor do V, formando-se arcos reflexos simples como o reflexo mandibular (veja Capítulo 19, item 2.2.1). Alguns destes prolongamentos levam impulsos proprioceptivos inconscientes ao cerebelo. Admite-se também que uma parte destes prolongamentos faz sinapse no núcleo sensitivo principal *(neurônio II)*, de onde os impulsos proprioceptivos conscientes através do lemnisco trigeminal vão ao tálamo *(neurônio III)* e de lá ao córtex.

3.2 — VIA GUSTATIVA (Fig. 29.5)

Os receptores são corpúsculos gustativos da língua e da epiglote. Os impulsos originados nos corpúsculos situados nos 2/3 anteriores da língua, após um trajeto periférico pelos nervos lingual e corda do timpano, chegam ao sistema nervoso central pelo nervo intermédio (VII par). Os impulsos do terço posterior da língua e os da epiglote penetram no sistema nervoso central, respectivamente, pelos nervos glossofaríngeo (IX) e vago (X) (Fig. 12.3).

---

* *Na realidade, o chamado* **lemnisco trigeminal** *não é uma formação única, apresentando uma divisão dorsal* (**lemnisco trigeminal dorsal**) *e outra ventral* (**lemnisco trigeminal ventral**). *A divisão dorsal é* ***predominantemente homolateral*** *e* ***origina-se*** *do núcleo sensitivo principal. A divisão ventral é toda* ***cruzada***, ***origina-se*** *do* ***núcleo*** *do tracto* ***espinhal*** *e incorpora-se ao lemnisco* ***medial*** *na parte mais cranial da ponte.*

Fig. 29.5 — *Representação esquemática da via gustativa.*

Neurônios I — localizam-se nos gânglios geniculado (VII), inferior do IX e inferior do X. Os prolongamentos periféricos destes neurônios ligam-se aos receptores; os prolongamentos centrais penetram no tronco encefálico fazendo sinapse com os neurônios II após um trajeto no tracto solitário.

Neurônios II — localizam-se no núcleo do tracto solitário. Originam as fibras solitário-talâmicas, que terminam fazendo sinapse com os

neurônios III no tálamo do mesmo lado e do lado oposto.

Neurônios III — localizam-se no tálamo, no mesmo núcleo onde chegam os impulsos que penetram pelo trigêmeo, ou seja, o núcleo ventral póstero-medial. Originam axônios que, como radiações talâmicas, chegam à área gustativa do córtex cerebral, situada na parte inferior do giro pós-central (área 43), adjacente à parte da área somestésica para a língua.

3.3 — VIA OLFATÓRIA (Fig. 29.6)

Os receptores são os cílios olfatórios das vesículas olfatórias, pequenas dilatações do prolongamento periférico da célula olfatória.

Neurônios I — Os neurônios I são as próprias *células olfatórias,* neurônios bipolares localizados na mucosa olfatória (ou mucosa pituitária), situada na parte mais alta das fossas nasais (Fig. 29.6). Os prolongamentos periféricos destes neurônios são muito pequenos e terminam em dilatações — as *vesículas olfatórias* — que contêm os receptores da olfação. Os prolongamentos centrais, amielínicos, agrupam-se em feixes formando filamentos que em conjunto constituem o nervo olfatório. Estes filamentos atravessam os pequenos orifícios da lâmina crivosa do osso etmóide e terminam no bulbo olfatório, onde suas fibras fazem sinapse com neurônios II.

Neurônios II — são principalmente as chamadas *células mitrais**, cujos dendritos, muito ramificados, fazem sinapse com as extremidades ramificadas dos prolongamentos centrais das células olfatórias (neurônios I) constituindo os chamados *glomérulos olfatórios* (Fig. 29.6). Os axônios mielínicos das células mitrais seguem pelo tracto olfatório e ganham as estrias olfatórias lateral e medial. Admite-se que os impulsos olfatórios conscientes seguem pela estria olfatória lateral** e terminam na área cortical de projeção para a sensibilidade olfatória, situada na parte anterior do úncus e do giro para-hipocampal*.

A via olfatória apresenta as seguintes peculiaridades:

a) possui apenas os neurônios I e II;
b) o neurônio I localiza-se em uma mucosa e não em um gânglio;
c) falta um relé talâmico;
d) a área cortical de projeção é do tipo alocórtex e não isocórtex, como nas demais vias;
e) é totalmente homolateral, ou seja, todas as informações originadas nos receptores olfatórios de um lado chegam ao córtex olfatório do mesmo lado.

Convém acentuar que as formações integrantes da via olfatória constituem em conjunto o chamado *rinencéfalo,* ou encéfalo olfatório, no sentido restrito em que este termo tende a ser usado modernamente. Como já foi visto no Capítulo 28, as demais formações tradicionalmente incluídas no rinencéfalo, no seu sentido mais amplo, não se relacionam com a sensibilidade olfatória e fazem parte do sistema límbico. Estudos eletrofisiológicos mostraram que este sistema recebe impulsos originados em quase todos os receptores, inclusive nos olfatórios. Admite-se que estas conexões se relacionam com fenômenos reflexos e reações comportamentais em resposta a impulsos olfatórios inconscientes.

3.4 — VIA AUDITIVA (Fig. 29.7)

Os receptores da audição estão no *órgão espiral* (de Corti) situado na cóclea do ouvido interno.

Neurônios I — Localizam-se no gânglio espiral situado na cóclea. São neurônios bipolares cujos prolongamentos periféricos são pequenos e terminam em contato com os receptores no órgão de Corti. Os prolongamentos centrais constituem a porção coclear do nervo vestíbulo-coclear e terminam na ponte, fazendo sinapse com os neurônios II.

* *O estudo das células do bulbo olfatório c suas conexões centrais foi feito de maneira muito esquemática e simplificada. Para maiores detalhes sobre o assunto, veja Scalia F. & Winaus, S.S. — 1975 — Journal of Comparative Neurology 161:31-56.*

** *As fibras da estria olfatória medial incorporam-se à comissura anterior c terminam no bulbo olfatório do lado oposto.*

* *Mais precisamente, nas áreas pré-piriforme (giro olfatório lateral) c peri-amigdalóide que, juntamente com a área entorrinal, constituem o lobo piriforme. A área entorrinal ocupa grande parte do giro para-hipocampal. Recebe fibras das áreas pré-piriforme c peri-amigdalóide e admite-se seja uma área cortical dc associação para a interpretação dc impulsos olfatórios.*

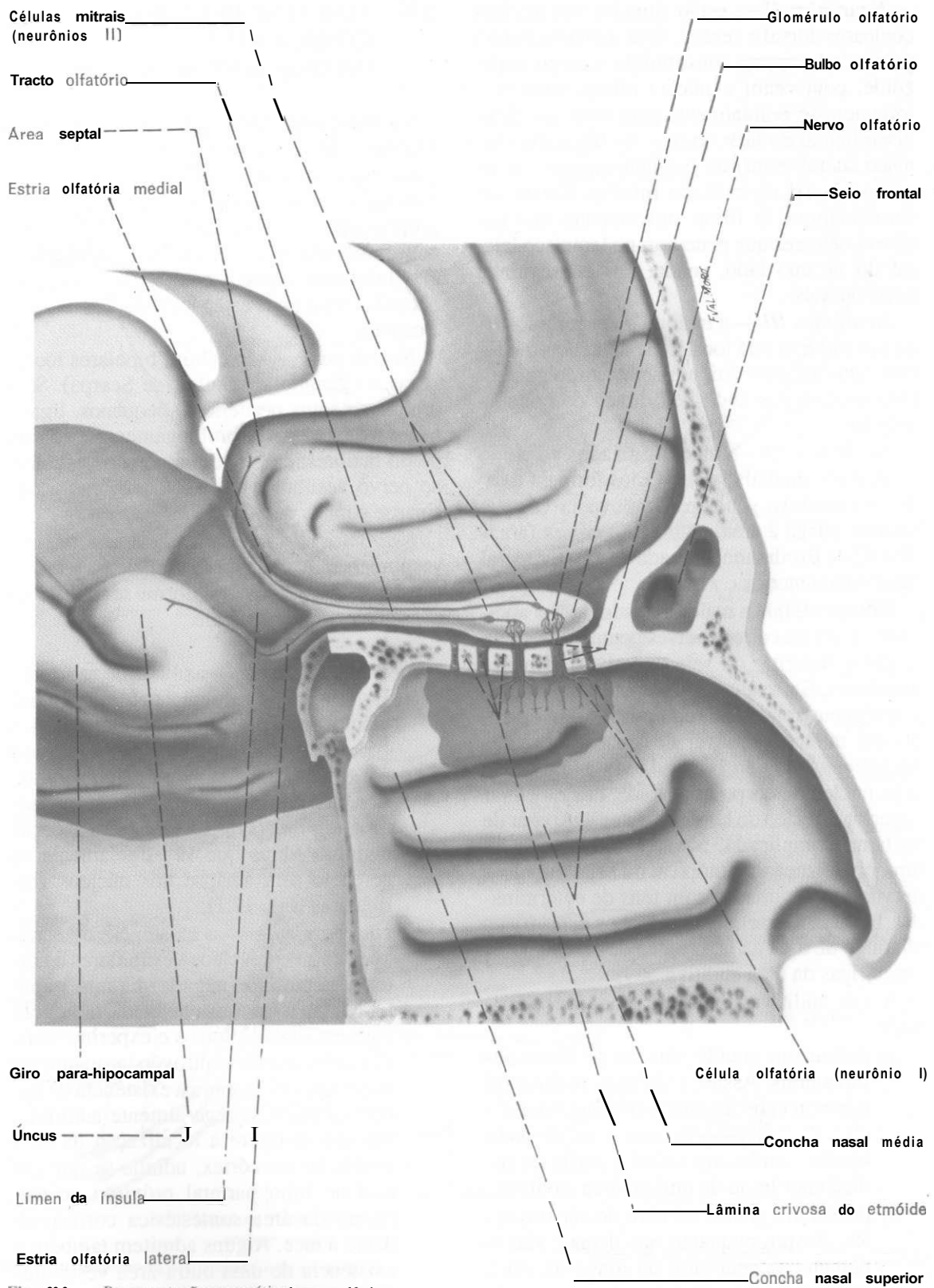



Fig. 29.6 — *Representação esquemática da via olfatória.*

Neurônios II — estão situados nos núcleos cocleares dorsal e ventral. Seus axônios cruzam para o lado oposto consumindo o corpo trapezóide, contornam o núcleo olivar superior e inflectem-se cranialmente para formar o lemnisco lateral do lado oposto. As fibras do lemnisco lateral terminam fazendo sinapse com os neurônios III no colículo inferior. Existe um certo número de fibras provenientes dos núcleos cocleares que penetram no lemnisco lateral do mesmo lado, sendo, por conseguinte, homolaterais.

Neurônios III — a maioria dos neurônios III da via auditiva está localizada no colículo inferior. Seus axônios dirigem-se ao corpo geniculado medial, passando pelo braço do colículo inferior.

Neurônios IV — estão localizados no corpo geniculado medial. Seus axônios formam a *radiação auditiva,* que, passando pela cápsula interna, chega à área auditiva do córtex (áreas 41 e 42 de Brodmann), situada no giro temporal transverso anterior.

Admite-se que a maioria dos impulsos auditivos chega ao córtex através de uma via como a acima descrita, ou seja, envolvendo quatro neurônios. Entretanto, muitos impulsos auditivos seguem trajeto mais complicado, envolvendo um número variável de sinapses em três núcleos situados ao longo da via auditiva, ou seja, núcleo do corpo trapezóide, núcleo olivar superior e núcleo do lemnisco lateral. Apesar de bastante complicada, a via auditiva mantém uma organização tonotópica, ou seja, impulsos nervosos relacionados com tons de determinadas freqüências seguem caminhos específicos ao longo de toda a via, projetando-se em partes específicas da área auditiva.

A via auditiva apresenta duas peculiaridades:

a) possui um grande número de fibras homolaterais. Assim, cada área auditiva do córtex recebe impulsos originados na cóclea de seu próprio lado e na do lado oposto, sendo impossível a perda da audição por lesão de uma só área auditiva;

b) possui um grande número de núcleos relés. Assim, enquanto nas demais vias o número de neurônios ao longo da via é geralmente três, na via auditiva este número é de quatro ou mais.

3.5 — VIAS VESTIBULARES CONSCIENTES E INCONSCIENTES (Fig. 17.1)

Os receptores estão localizados na porção vestibular do ouvido interno e são as cristas dos canais semicirculares e as máculas do utrículo e do sáculo. Estes receptores são considerados proprioceptivos, pois, assim como os fusos neuromusculares e órgãos neurotendinosos, eles informam sobre a posição no espaço da parte do corpo onde estão localizados, no caso, a cabeça.

Neurônios I — são células bipolares localizadas no gânglio vestibular (de Scarpa). Seus prolongamentos periféricos, pequenos, ligam-se aos receptores, e os prolongamentos centrais, muito maiores, constituem a porção vestibular do nervo vestibulococlear, cujas fibras fazem sinapse com os neurônios II.

Neurônios II — localizam-se nos núcleos vestibulares. A partir destes núcleos, temos a considerar dois trajetos conforme se trate de via consciente ou inconsciente.

a) *via inconsciente* — axônios de neurônios II dos núcleos vestibulares formam o fascículo vestibulo-cerebelar, que ganha o córtex do arquicerebelo, passando pela parte medial do pedúnculo cerebelar inferior, que constitui o chamado *corpo justa-restiforme* (Fig. 17.1). Fazem exceção algumas fibras que vão diretamente ao cerebelo sem sinapse nos núcleos vestibulares (Fig. 17.1);

b) *via consciente* — a existência de conexões entre os núcleos vestibulares e córtex cerebral foi negada durante muito tempo, mas está estabelecida hoje com base em dados clínicos e experimentais. Contudo, existe controvérsia quanto ao trajeto da via, embora a existência de um relé talâmico seja geralmente admitida. No que se refere à localização da área vestibular no córtex, admite-se que ela está no lobo parietal próximo ao território da área somestésica correspondente à face. Alguns admitem também a existência de uma outra área vestibular no lobo temporal próximo à área auditiva.

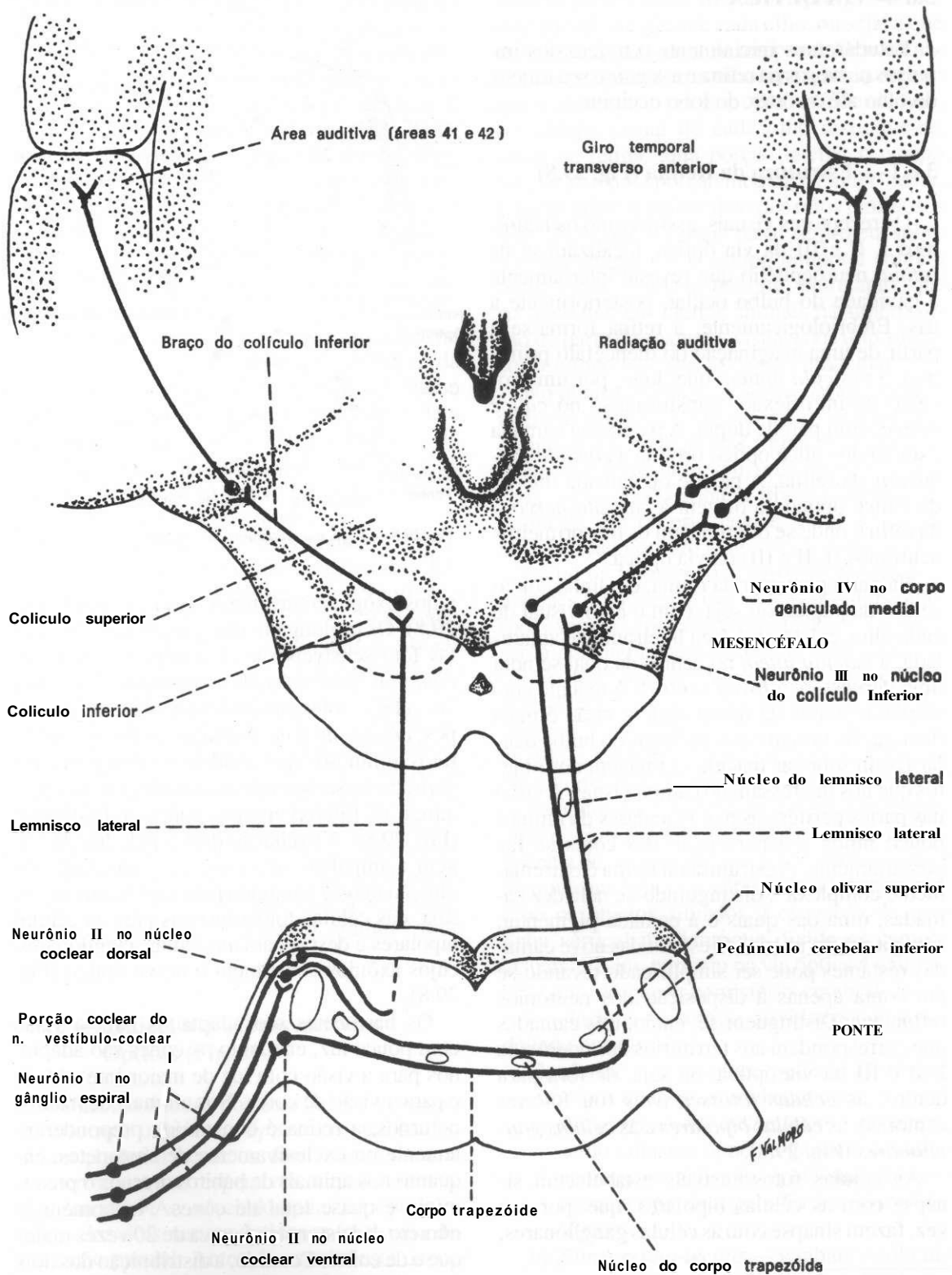



Fig. 29.7 — *Representação esquemática da via auditiva.*

3.6 — VIA ÓPTICA

Estudaremos inicialmente o trajeto dos impulsos nervosos na retina e a seguir o seu trajeto, do olho até o córtex do lobo occipital.

3.6.1 — Estrutura da Retina (Fig. 29.8)

Os receptores visuais, assim como os neurônios **I, II** e **III** da via óptica, localizam-se na *retina,* neuroepitélio que reveste internamente a cavidade do bulbo ocular, posteriormente à íris. Embriologicamente, a retina forma-se a partir de uma evaginação do diencéfalo primitivo, a *vesícula óptica,* que, logo, por um processo de introflexão, transforma-se no *cálice óptico,* com parede dupla. A parede ou camada externa do cálice óptico origina a *camada pigmentar* da retina. A parede ou camada interna do cálice óptico dá origem à *camada nervosa* da retina, onde se diferenciam os três primeiros neurônios **(I, II** e **III)** da via óptica.

Na parte posterior da retina, em linha com o centro da pupila, ou seja, com o eixo visual de cada olho, existe uma área ligeiramente amarelada, a *mácula lútea,* no centro da qual se nota uma depressão, a *fóvea central.* A mácula corresponde à área da retina onde a visão é mais distinta. Os movimentos reflexos do bulbo ocular fixam sobre as máculas a imagem dos objetos que nos interessam no campo visual. A visão nas partes periféricas não maculares da retina é pouco nítida e a percepção das cores se faz precariamente. A estrutura da retina é extremamente complexa*, distinguindo-se nela dez camadas, uma das quais é a camada pigmentar, situada externamente. O estudo das nove camadas restantes pode ser simplificado levando-se em conta apenas a disposição dos neurônios retinianos. Distinguem-se, então, três camadas que correspondem aos territórios dos neurônios **I, II** e **III** da via óptica, ou seja, de fora para dentro: as *células fotossensíveis* (ou fotorreceptoras), as *células bipolares* e as *células ganglionares* (Fig. 29.8).

As células fotossensíveis estabelecem sinapse com as células bipolares, que, por sua vez, fazem sinapse com as células ganglionares,

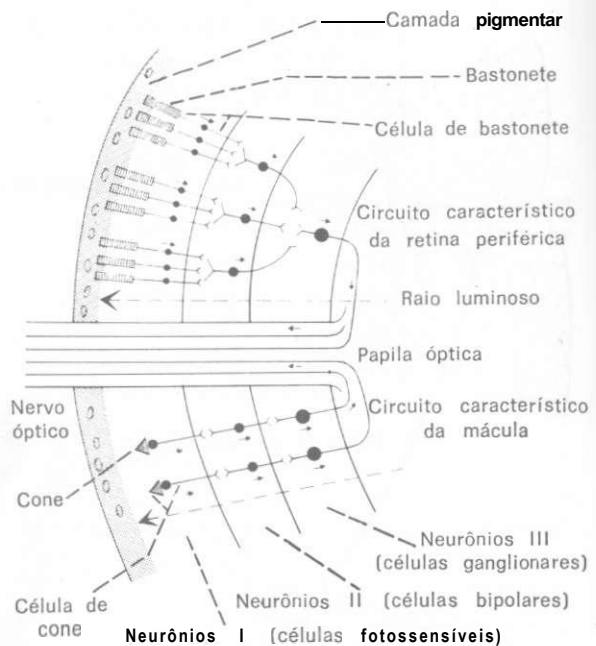



Fig. 29.8 — *Esquema da disposição dos neurônios na retina.*

cujos axônios constituem o *nervo óptico* (Fig. 29.8). Os prolongamentos periféricos das células fotossensíveis são os receptores da visão, *cones* ou *bastonetes,* de acordo com sua forma. As células fotossensíveis são, pois, de dois tipos: *células de cone* e *células de bastonete.* Os raios luminosos que incidem sobre a refina devem atravessar suas nove camadas internas para atingir os fotorreceptores, cones ou bastonetes (Fig. 29.8). A excitação destes pela luz dá origem a impulsos nervosos que caminham em direção oposta à seguida pelo raio luminoso, ou seja, das células fotossensíveis para as células bipolares e destas para as células ganglionares, cujos axônios constituem o nervo óptico (Fig. 29.8).

Os bastonetes são adaptados para a visão com pouca luz, enquanto os cones são adaptados para a visão com luz de maior intensidade e para a visão de cores. Nos animais de hábitos noturnos, a retina é constituída preponderantemente ou exclusivamente de bastonetes, enquanto nos animais de hábitos diurnos o predomínio é quase total de cones. No homem, o número de bastonetes é cerca de 20 vezes maior que o de cones. Contudo, a distribuição dos dois tipos de receptores não é uniforme. Assim enquanto nas partes periféricas da retina predominam os bastonetes, o número de cones aumenta

* *Para um estudo detalhado da estrutura da retina, veja Polyak, S. L. — 1941 —* The retina. *University of Chicago Press. Chicago.*

progressivamente à medida que se aproxima da mácula, até que ao nível da fóvea central existem exclusivamente cones. Nas partes periféricas da retina vários bastonetes ligam-se a uma célula bipolar e várias células bipolares fazem sinapse com uma célula ganglionar (Fig. 29.8). Assim, nestas áreas uma fibra do nervo óptico pode estar relacionada com até 100 receptores. Na mácula, entretanto, o número de cones é aproximadamente igual ao de células bipolares e ganglionares, ou seja, cada célula de cone faz sinapse com uma célula bipolar, que, por sua vez, se liga a uma célula ganglionar (Fig. 29.8). Deste modo, para cada cone existe uma fibra no nervo óptico. Estas características estruturais da mácula explicam sua grande acuidade visual e permitem entender o fato de que, apesar de a mácula ser uma área pequena da retina, ela contribui com um grande número de fibras para a formação do nervo óptico e tem uma representação cortical muito grande.

Como já foi referido, o nervo óptico é formado pelos axônios das células ganglionares. Estes são inicialmente amielínicos e percorrem a superfície interna da retina (Fig. 29.8), convergindo para a chamada *papila óptica,* situada na parte posterior da retina, medialmente à mácula. Ao nível da papila óptica, os axônios das células ganglionares atravessam as túnicas média e externa do olho, tornam-se mielínicos constituindo o *nervo óptico.* Como não existem fotorreceptores ao nível da papila, ela é também conhecida como ponto cego da retina. Sua importância clínica é muito grande, pois aí penetram os vasos que nutrem a retina. O edema da papila é um importante sinal indicador da existência dc hipertensão craniana (Capítulo 9, item 3.2).

3.6.2 — Trajeto das Fibras nas Vias Ópticas (Fig. 29.9)

Os nervos ópticos dos dois lados convergem para formar o *quiasma óptico,* do qual se destacam posteriormente os dois *tractos ópticos,* que terminam nos respectivos *corpos geniculados laterais.* Ao nível do quiasma óptico as fibras dos dois nervos ópticos sofrem uma decussação parcial. Antes de estudar esta decussação, é necessário conceituar alguns termos:

Denomina-se *retina nasal* a metade medial da retina de cada olho, ou seja, a que está voltada para o nariz. *Retina temporal* é a metade lateral da retina de cada olho, ou seja, a que está voltada para a região temporal. Denomina-se *campo visual* de um olho a porção do espaço que pode ser vista por este olho estando ele fixo. No campo visual de cada olho distingue-se, como na retina, uma porção lateral, o *campo temporal*; e uma porção medial, o *campo nasal.* É fácil verificar pelo trajeto dos raios luminosos (Fig. 29.9) que o campo nasal se projeta sobre a retina temporal e o campo temporal sobre a retina nasal. Convém lembrar, entretanto, que no homem e em muitos animais há superposição de parte dos campos visuais dos dois olhos, constituindo o chamado campo binocular.

No quiasma óptico, as fibras nasais, ou seja, as fibras oriundas da retina nasal, cruzam para o outro lado, enquanto as fibras temporais seguem do mesmo lado, sem cruzamento. Assim, cada tracto óptico contém fibras temporais da retina de seu próprio lado e fibras nasais da retina do lado oposto (Fig. 29.9). Como conseqüência, os impulsos nervosos originados em metades homônimas das retinas dos dois olhos (por exemplo, na metade direita dos dois olhos) serão conduzidos aos corpos geniculados e ao córtex deste mesmo lado. Ora, é fácil verificar (Fig. 29.9) que as metades direitas da retina dos dois olhos, ou seja, a retina nasal do olho esquerdo e temporal do olho direito recebem os raios luminosos provenientes do lado esquerdo, ou seja, dos campos temporal esquerdo e nasal direito. Entende-se, assim, que, como conseqüência da decussação parcial das fibras visuais no quiasma óptico, o córtex visual direito percebe os objetos situados à esquerda de uma linha vertical mediana que divide os campos visuais. Assim, também na via óptica é válido o princípio de que o hemisfério cerebral de um lado relaciona-se com as atividades sensitivas do lado oposto.

Conforme seu destino, pode-se distinguir quatro tipos de fibras nas vias ópticas:

a) *fibras retino-hipotalâmicas* — destacam-se do quiasma óptico e ganham o núcleo supraquiasmático do hipotálamo. São importantes para a regulação dos ritmos biológicos;

b) *fibras retino-tectais* — ganham o colículo superior através do braço do colículo superior e estão relacionadas com certos reflexos de movimentos dos olhos ou das

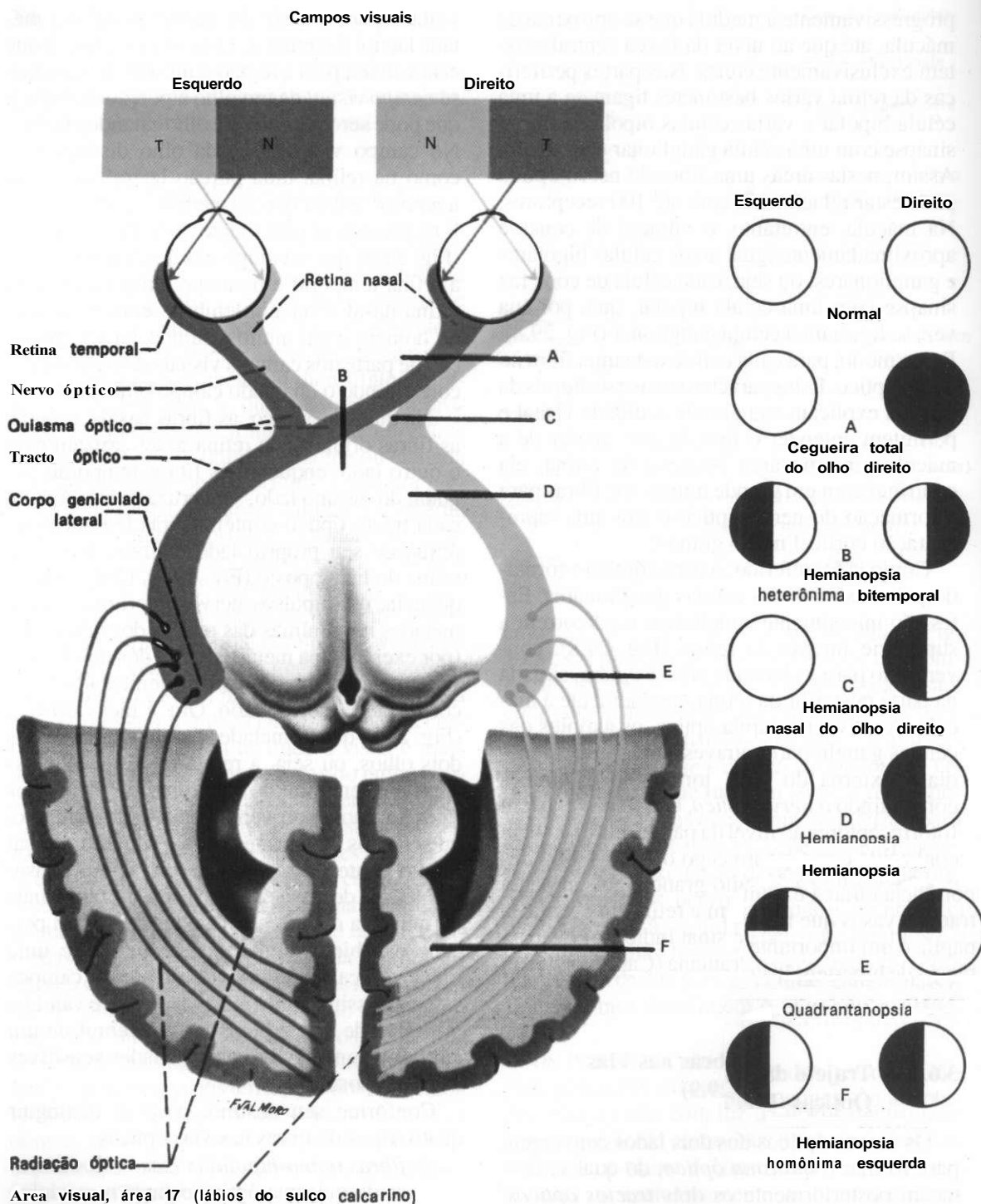



Fig. 29.9 — *Representação esquemática das vias ópticas c sua correspondência com os campos visuais nasal (N) c temporal (T) de cada olho. As letras A-F do lado esquerdo indicam lesões nas vias ópticas, que resultam nos defeitos de campo visual representados do lado direito. O esquema não leva cm conta o fato dc que existe uma superposição parcial entre os campos visuais dos dois olhos.*

pálpebras desencadeados por impulsos visuais. Como exemplo temos o reflexo de piscar (Capítulo 19, item 2.2.4);

c) ***fibras*** *retino-pré-tectais* — ganham a área pré-tectal através do braço do colículo superior e estão relacionadas com os

reflexos fotomotor direto e consensual (Capítulo 19, itens 2.2.6 e 2.2.7);

d) *fibras retino-geniculadas* — são as mais importantes, pois somente elas se relacionam com a visão. Terminam fazendo sinapse com os neurônios IV da via óptica localizados no corpo geniculado lateral.

Os axônios dos neurônios do corpo geniculado lateral (neurônios IV) constituem a *radiação óptica (tracto geniculo-calcarino)* e terminam na área visual, área 17, situada nos lábios do sulco calcarino. Nem todas as fibras da radiação óptica atingem o córtex pelo mesmo trajeto. As fibras dorsais seguem um curso quase retilíneo para trás, em direção ao lobo occipital. Já as fibras ventrais dirigem-se inicialmente para diante, em direção ao pólo temporal, encurvam-se a seguir e voltam em direção ao lobo occipital, onde terminam (Fig. 29.9). Forma-se, assim, uma alça, a *alça temporal* (ou de Meyer), em relação com a parte anterior do corno inferior do ventriculo lateral. A presença desta alça explica o fato de que tumores do lobo temporal situados adiante do nível em que se localizam os corpos geniculados laterais podem comprimir e lesar a radiação óptica, resultando alteração nos campos visuais.

Existe correspondência entre partes da retina c partes do corpo geniculado lateral, da radiação óptica e da área 17. Na radiação óptica, as fibras correspondentes às partes superiores da retina ocupam posição mais alta e se projetam no lábio superior do sulco calcarino; as fibras correspondentes às partes inferiores da retina ocupam posição mais baixa e projetam-se no lábio inferior do sulco calcarino; as fibras que levam impulsos da mácula ocupam posição intermediária e se projetam na parte posterior do sulco calcarino. Existe, assim, uma somatotopia perfeita em toda a via óptica, fato este de grande importância clínica, pois permite localizar com bastante precisão certas lesões da via óptica com base no estudo das alterações dos campos visuais.

3.6.3 — Lesões das Vias Ópticas (Fig. 29.9)

O conhecimento da disposição das libras na via óptica torna fácil entender os sintomas que resultam da lesão de suas diferentes partes. Destes sintomas, sem dúvida, os mais importantes são as alterações dos campos visuais, que devem ser pesquisadas para cada olho isoladamente. O distúrbio básico do campo visual é o *escotoma,* que consiste em uma falha dentro do campo visual, ou seja, cegueira para uma parte deste campo. Quando o escotoma atinge metade do campo visual, passa a ser denominado *hemianopsia.* A hemianopsia pode ser *heterônima* ou *homônima.* Na primeira, são acometidos lados diferentes dos *campos* visuais, ou seja, desaparece a visão nos campos, temporais ou nos campos nasais (Fig. 29.9). Na segunda, fica acometido o mesmo lado do campo visual de cada olho, ou seja, desaparece a visão do campo temporal do olho de um lado e o campo nasal do olho do lado oposto (Fig. 29.9).

No lado direito da Fig. 29.9 estão representados os defeitos de campo visual que resultam de lesões da via óptica, situados nos pontos indicados do lado esquerdo da figura. Observa-se que as lesões responsáveis pelas hemianopsias heterônimas localizam-se no quiasma óptico, enquanto as responsáveis pelas hemianopsias homônimas são retroquiasmáticas, ou seja, localizam-se entre o quiasma e o córtex occipital. A seguir, faremos rápidas considerações sobre as principais lesões das vias ópticas c suas conseqüências sobre os campos visuais.

a) *lesão do nervo óptico* (Fig. 29.9A) — resulta em cegueira completa do olho correspondente. Ocorre, por exemplo, como conseqüência de traumatismo ou em casos de glaucoma, quando o aumento da pressão intra-ocular comprime c lesa as fibras do nervo óptico ao nível da papila;

b) *lesão da parte mediana do quiasma óptico* (Fig. 29.9B) — resulta em *hemianopsia bitemporal,* como conseqüência da interrupção das fibras provenientes das retinas nasais que cruzam a este nível. Este tipo de lesão ocorre tipicamente nos tumores da hipófise, que crescem e comprimem o quiasma de baixo para cima;

c) *lesão da parte lateral do quiasma óptico* (Fig. 29.9C) — resulta em *hemianopsia nasal* do olho correspondente, como conseqüência da interrupção das fibras provenientes da retina temporal deste olho. Este tipo de lesão ocorre mais freqüentemente em casos de aneurismas da artéria carótida interna, que comprimem lateralmente o quiasma óptico. Quando a

compressão se faz dos dois lados, como conseqüência de dois aneurismas, ocorre uma *hemianpsia binasal*, ou seja, nos campos nasais dos olhos;

d) *lesão do tracto óptico* (Fig. 29.9D) — resulta em *hemianopsia homônima* direita ou esquerda, conforme a lesão se localize, respectivamente, no tracto óptico esquerdo ou direito. É fácil verificar pela figura que as lesões de campo neste caso resultam da interrupção das fibras provenientes da retina temporal de um olho e nasal do olho do lado oposto. Lesões deste tipo podem ocorrer como conseqüência de traumatismos ou tumores que comprimem o tracto óptico. Lesões do corpo geniculado lateral dão alterações de campo visual idênticas às observadas após lesão do tracto óptico;

e) *lesões da radiação óptica* (Figs. 29.9E e F) — é fácil verificar, pelo trajeto das fibras na via óptica, que lesões completas da radiação óptica causam alterações dc campo visual idênticas às que resultam de lesões do tracto óptico, ou seja, ocorrem hemianopsias homônimas (Fig. 29.9F). Contudo, pesquisando-se o reflexo fotomotor na metade cega da retina, verifica-se que ele está ausente no caso das lesões do tracto óptico c presente no caso das lesões da radiação óptica (ou da área 17). Isto sc explica pelo fato de que nas lesões do tracto óptico há interrupção das fibras retino-pré-tectais responsáveis pelo reflexo, o que não ocorre no caso das lesões situadas depois do corpo geniculado lateral. Na prática, entretanto, as lesões completas da radiação óptica são muito raras, pois suas fibras espalham-se em um território bastante grande. Mais freqüentemente ocorrem lesões de parte destas fibras, o que resulta em pequenas falhas do campo visual (escotomas) ou falhas que comprometem todo um quadrante do campo visual e são denominadas *quadrantanopsias*. Como exemplo, temos a lesão ilustrada na Fig. 29.9E, na qual houve comprometimento da metade inferior direita da radiação óptica, resultando em *quadrantanopsia homônima superior esquerda,* uma vez que são interrompidas as fibras oriundas da metade inferior das retinas nasal esquerda e temporal direita. Este é o tipo de alteração dos campos visuais que resulta do comprometimento das fibras da alça temporal (de Meyer) em certos casos de tumor do pólo temporal;

f) *lesões do córtex visual* (área **17**) — as lesões completas do córtex visual de um hemisfério dão alterações de campo iguais às observadas em lesões completas da radiação óptica. Contudo, também aqui são mais freqüentes as lesões parciais. Assim, por exemplo, uma lesão do lábio inferior do sulco calcarino direito resulta em quadrantanopsia homônima superior esquerda (Fig. 29.9E). Convém assinalar que, provavelmente devido à grande representação cortical da mácula, a visão macular é freqüentemente poupada nos casos de lesão da área 17. A preservação da visão macular é menos freqüente nas lesões da radiação óptica e excepcionalmente ocorre nas lesões do tracto óptico.

4.0 — CONTROLE DA TRANSMISSÃO DAS INFORMAÇÕES SENSORIAIS

Sabe-se que o sistema nervoso central, longe de receber passivamente as informações sensoriais que vão ter a ele, é capaz de modular a transmissão dessas informações através de fibras centrífugas que agem principalmente sobre os núcleos relés existentes nas grandes vias aferentes. Caracteriza-se assim a existência de vias eferentes reguladoras da sensibilidade. A primeira observação mostrando a existência dessas vias deve-se a Ramon Cajal, que descobriu no nervo óptico e na retina fibras eferentes originárias da formação reticular. A presença de vias eferentes reguladoras da sensibilidade explica a capacidade que temos de selecionar, entre as diversas informações sensoriais que nos chegam em um determinado momento, aquelas mais relevantes e que despertam nossa atenção. Na dependência dessas vias estão, pois, fenômenos como a atenção seletiva e a habituação a estímulos apresentados continuamente. Assim, quando se liga o ventilador da sala de aula, o seu ruído inicialmente atrai nossa atenção. Contudo, logo ficamos habituados com o barulho, que deixa de ser percebido, a

menos que nossa atenção se volte novamente para ele. Isto pode ocorrer, por exemplo, se o ruído se modifica tornando-se mais alto ou mais baixo. Sabe-se que o fenômeno da habituação se deve a um mecanismo de inibição dos impulsos sensoriais pouco relevantes e que, por conseguinte, não atraem nossa atenção. Ele não deve ser confundido com a *adaptação*, ou *fadiga dos receptores*, observada principalmente em receptores cutâneos submetidos a estímulos contínuos. Neste caso, o mecanismo localiza-se somente no receptor e não depende de nenhuma ação central. O controle da sensibilidade pelo sistema nervoso central manifesta-se geralmente por inibição e as vias responsáveis pelo processo originam-se no córtex cerebral e principalmente na formação reticular. Especialmente importantes por suas implicações médicas são as vias que regulam a penetração no sistema nervoso central dos impulsos nervosos responsáveis pela dor. Estas vias, hoje, já bastante conhecidas, sefão estudadas no próximo item.

4.1 — REGULAÇÃO DA DOR: VIAS DA ANALGESIA

Em 1965, Melzack e Wall publicaram um importante trabalho propondo uma nova teoria segundo a qual a penetração dos impulsos dolorosos no sistema nervoso central seria regulada por neurônios e circuitos nervosos existentes na substância gelatinosa das colunas posteriores da medula, que agiria como um "portão", impedindo ou permitindo a entrada dc impulsos dolorosos. O portão seria controlado por fibras descendentes supra-espinhais e pelos próprios impulsos nervosos que entram pelas fibras das raízes dorsais. Assim, os impulsos nervosos conduzidos pelas grossas fibras mielínicas de tato (fibras A beta) teriam efeitos antagônicos aos das fibras finas dc dor (fibras A delta e C), estas abrindo e aquelas fechando o portão. A teoria do portão da dor de Melzack e Wall marcou o início de um grande número de pesquisas sobre os mecanismos de regulação da dor. Embora alguns dos circuitos nervosos postulados por essa teoria não tenham sido aceitos, ela foi confirmada nos seus aspectos fundamentais, ou seja, existe um "portão" para a dor envolvendo complexos circuitos da substância gelatinosa, controlados por fibras de origem espinhal e supra-espinhal. Confirmou-se também que os ramos colaterais das grossas fibras táteis dos fascículos grácil e cuneiforme que penetram na coluna posterior inibem a traasmissão dos impulsos dolorosos, ou seja, fecham o "portão". Com base neste fato surgiram as chamadas "técnicas de estimulação transcutânea", usadas hoje com sucesso para o tratamento de certos tipos de dor e que consistem na estimulação, feita através de eletrodos colocados sobre a pele, das fibras táteis de nervos periféricos ou do funículo posterior da medula. A inibição dos impulsos dolorosos por estímulos táteis explica também o alívio que se sente ao esfregar um membro dolorido depois de uma topada.

Nos últimos 20 anos houve um enorme avanço nos conhecimentos sobre os mecanismos supra-espinhais que regulam o "portão" da dor. A descoberta mais importante nesta área foi feita em 1969 por Reynolds, que, estimulando a substância cinzenta periaquedutal do rato, obteve uma analgesia tão acentuada que permitiria a realização de cirurgias abdominais no animal sem anestesia. Efeito semelhante pôde ser obtido também por estímulos do núcleo magno da rafe, pertencente à formação reticular. A analgesia obtida nesses casos depende de uma via que liga a substância cinzenta periaquedutal ao núcleo magno da rafe, de onde partem fibras serotoninérgicas que percorrem o tracto espinhal do trigêmeo c o fascículo dorsolateral da medula e terminam em neurônios internunciais encefalinérgicos situados no núcleo do tracto espinhal do trigêmeo e na substância gelatinosa (Fig. 29.10). Estes neurônios inibem a sinapse entre os neurônios I c II da via da dor através da liberação de um opióide endógeno, a *encefalina*, substância do mesmo grupo químico da morfina. Receptores para opióides existem também na substância cinzenta periaquedutal, onde a injeção de quantidades muito pequenas de morfina resulta em uma analgesia semelhante â que se obtém por estímulos elétricos. Assim, sabe-sc hoje que a atividade analgésica da morfina, substância usada para tratamento de quadros dolorosos muito intensos, sc deve à sua fixação e conseqüente ativação dos receptores para opióides existentes na via da analgesia acima descrita. A descoberta desse fato deu origem a novas técnicas para tratamento de quadros dolorosos graves através da instilação intracerebral ou espinhal de morfina.

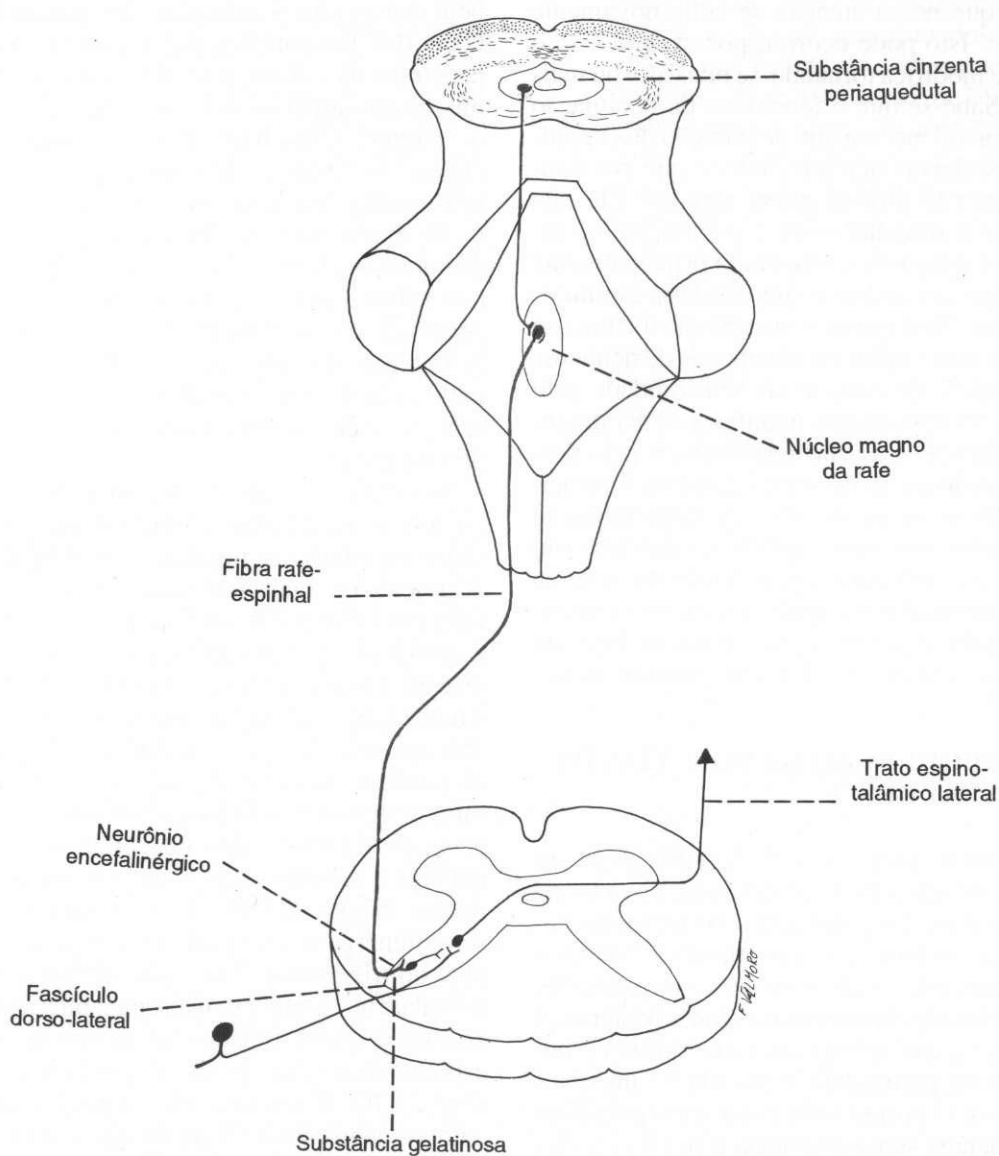



Fig. 29.10 — *Via da analgesia.*

As conexões aferentes da substância cinzenta periaquedutal são numerosas, mas o contingente mais importante é representado por fibras ou colaterais das vias neo e paleoespino-talâmicas. Isto aumenta a complexidade e a sofisticação do sistema de regulação da dor, uma vez que os próprios estímulos nociceptivos que sobem pelas vias espino-talâmicas podem inibir a entrada de impulsos dolorosos no sistema nervoso central. Entende-se assim como a introdução de uma agulha em uma parte do corpo pode causar alívio em um ponto doloroso muito distante. Esse procedimento é usado na *acupuntura,* técnica milenar da medicina chinesa que só recentemente teve esclarecida sua base neurobiológica e começa a ser aceita pela medicina tradicional*.

* *Para mais informações sobre as bases neurobiológicas da analgesia provocada pelas acupunturas, veja Han, J. S. & Terenius, L — 1982* — **Annual Review of Pharmacology and Toxicology,** *22:193-220.*

Capítulo 30

Grandes Vias Eferentes

1.0 — GENERALIDADES

As grandes vias eferentes põem em comunicação os centros supra-segmentares do sistema nervoso com os órgãos efetuadores. Podem ser divididas em dois grandes grupos: *vias eferentes somáticas,* ou do sistema nervoso da vida de relação, e *vias eferentes viscerais,* ou do sistema nervoso autônomo. As primeiras controlam a atividade dos músculos estriados esqueléticos, permitindo a realização de movimentos voluntários ou automáticos, regulando ainda o tônus c a postura. As segundas, ou seja, as vias eferentes do sistema nervoso autônomo, destinam-se aos músculo liso, músculo cardíaco ou às glândulas, regulando o funcionamento das vísceras e dos vasos.

2.0 — VIAS EFERENTES DO SISTEMA NERVOSO AUTÔNOMO

No Capítulo 13 estudou-se a parte periférica do sistema nervoso autônomo, chamando-se atenção para a diferença anatômica básica entre este sistema e o somático, ou seja, a presença de dois neurônios, pré e pós-ganglionares entre o sistema nervoso central e os órgãos efetuadores. A influência do sistema nervoso supra-segmentar sobre a atividade visceral se exerce, pois. necessariamente, através de impulsos nervosos que ganham os neurônios pré-ganglionares, passam aos neurônios pós-ganglionares, de onde se distribuem às vísceras. As áreas do sistema nervoso supra-segmentar que regulam a atividade do sistema autônomo sc localizam no hipotálamo, no sistema límbico e na área pré-frontal. Estimulações elétricas nessas áreas resultam em modificações da atividade visceral, indicando a existência de vias nervosas entre elas e os neurônios pré-ganglionares.

Até há algum tempo admitia-se que as conexões do sistema límbico e do hipotálamo com os neurônios pré-ganglionares seriam feitas necessariamente através da formação reticular, envolvendo possivelmente circuitos polissinápticos curtos, que finalmente se projetariam sobre os neurônios pré-ganglionares através do tracto retículo-espinhal. Estudos mais modernos confirmaram a existência dessas vias indiretas, mas mostraram também a existência de conexões diretas entre o hipotálamo e os neurônios pré-ganglionares, tanto do tronco encefálico como da medula, estas últimas através das fibras hipotálamo-espinhais. Temos assim nas vias eferentes viscerais uma situação semelhante à já bastante conhecida nas vias eferentes somáticas. Nos dois casos, o sistema nervoso supra-segmentar liga-se aos neurônios efetuadores, tanto através de vias indiretas, envolvendo o tronco encefálico, como através de conexões diretas, representadas pelos tractos córtico-espinhal, no caso do sistema somático, e hipotálamo-espinhal, no caso do sistema visceral.

3.0 — VIAS EFERENTES SOMÁTICAS

3.1 — OS "SISTEMAS" PIRAMIDAL E EXTRA PIRAMIDAL

Até há algum tempo as estruturas e vias que influenciam a motricidade somática eram agrupadas em dois grandes sistemas, *piramidal* e

extrapiramidal, termos que foram amplamente empregados especialmente na área clínica. O sistema piramidal — compreendendo os tractos córtico-espinhal e córtico-nuclear, assim como suas áreas corticais de origem — seria o único responsável pelos movimentos voluntários. Já o sistema extrapiramidal — compreendendo todas as demais estruturas e vias motoras somáticas — seria responsável pelos movimentos automáticos, assim como pela regulação do tônus e da postura. A validade dessa divisão, adotada ainda na primeira edição deste livro, foi questionada quando se verificou que os núcleos do corpo estriado, por muitos considerados como o sistema extrapiramidal propriamente dito, exerciam sua influencia sobre os neurônios motores através do tracto córtico-espinhal, ou seja, através do próprio sistema piramidal. O mesmo raciocínio pode ser feito em relação ao cerebelo, freqüentemente incluído no sistema extrapiramidal, cuja influencia sobre o neurônio motor em grande parte se faz através do tracto córtico-espinhal. Dados mais recentes evidenciando que o chamado "sistema extrapiramidal" também controla os movimentos voluntários vieram mostrar que a conceituação de dois sistemas independentes, piramidal e extrapiramidal, não pode mais ser aceita e já não é utilizada na maioria dos textos modernos de neuroanatomia e neurologia. Julgamos, entretanto, vantajoso do ponto de vista didático e puramente descritivo manter os termos piramidal e extrapiramidal para indicar respectivamente as vias motoras que passam e não passam pelas pirâmides bulbares em seu trajeto até a medula. O tracto córtico-nuclear que termina acima da medula é incluído entre as vias piramidais por corresponder funcionalmente ao tracto córtico-espinhal.

3.2 — VIAS PIRAMIDAIS

Compreende dois tractos: o tracto córtico-espinhal e seu correspondente, no tronco encefálico, o tracto córtico-nuclear.

3.2.1 — Tracto **Córtico-Espinhal** (Figs. **30.1, 30.2**)*

Une o córtex cerebral aos neurônios motores da medula. Suas fibras têm o seguinte trajeto: área 4 (maioria), coroa radiada, perna posterior da cápsula interna, base do pedúnculo cerebral, base da ponte e pirâmide bulbar (Figs. 30.1, 30.2). Ao nível da decussação das pirâmides, uma parte das fibras continua ventralmente, constituindo o *tracto córtico-espinhal anterior.* Outra parte cruza na decussação das pirâmides para constituir o *tracto córtico-espinhal lateral.* Há grande variação no número de fibras que decussam, mas uma decussação de 75 a 90% pode ser considerada normal. As fibras do tracto córtico-espinhal anterior ocupam o funículo anterior da medula e terminam em relação com os neurônios motores contralaterais, após cruzamento na comissura branca. Na maioria dos indivíduos ele só pode ser individualizado até os níveis torácicos médios. O tracto córtico-espinhal lateral é o mais importante. Ocupa o funículo lateral ao longo de toda a extensão da medula e suas fibras influenciam os neurônios motores da coluna anterior de seu próprio lado.

Na maioria dos mamíferos, as fibras motoras do tracto córtico-espinhal terminam na substância cinzenta intermédia, fazendo sinapses com interneurônios, os quais, por sua vez, se ligam aos motoneurônios da coluna anterior. Esse mecanismo permite que essas fibras exerçam uma ação tanto excitadora como inibidora sobre os motoneurônios. Nos primatas, inclusive no homem, além dessas conexões indiretas, um número significativo de fibras córtico-espinhais faz sinapse diretamente com os neurônios motores alfa e gama*. Convém lembrar que nem todas as fibras do tracto córtico-espinhal são motoras. Um número significativo delas, originadas na área somestésica do córtex, termina na coluna posterior e acredita-se que estejam envolvidas no controle dos impulsos sensitivos. Sem dúvida, entretanto, a principal função do tracto córtico-espinhal é motora somática. Suas fibras terminam em relação com neurônios motores que controlam tanto a musculatura axial como apendicular e ele é o principal feixe de fibras responsável pela motricidade voluntária no homem. Entretanto, ao contrário do que se admitia até há alguns anos, essa mesma função é exercida também pelo tracto rubro-espinhal, que age sobre a musculatura distal dos membros, e pelo tracto retículo-espinhal, que

* *Para uma revisão recente enfatizando as idéias modernas sobre o tracto córtico-espinhal, veja Davidoff, R.A. — 1990 —* Neurology *40:332-339.*

* *Para uma revisão sobre esse assunto, veja Porter, R. — 1985* — Brain Research Reviews *10:1-26.*

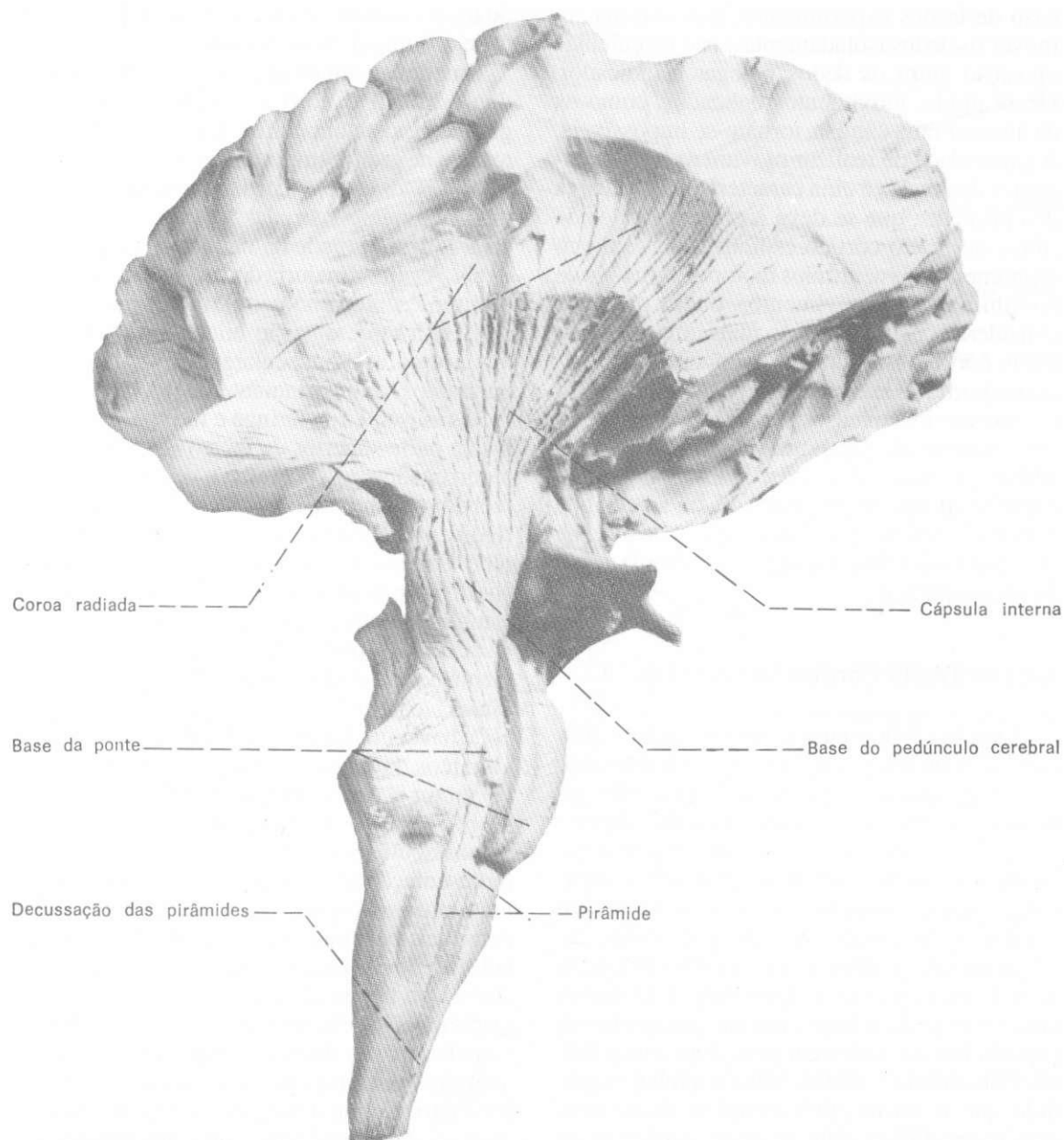



Fig. 30.1 — *Vista lateral de uma dissecação de encéfalo, mostrando o tracto córtico-espinhal no seu trajeto pela coroa radiada, cápsula interna, base do pedúnculo cerebral, base da ponte e pirâmides bulbares (Preparação e fotografia: gentileza do Prof. Hildegardo Rodrigues).*

age sobre a musculatura axial e proximal dos membros. Entende-se, pois, que, em virtude da ação compensadora desses dois tractos, as lesões do tracto córtico-espinhal não causam quadros de hemiplegia como se acreditava, e os déficits motores que resultam dessas lesões são relativamente pequenos. Há fraqueza muscular (paresia) e dificuldade de contrair voluntariamente os músculos com a mesma velocidade com que poderiam ser contraídos em condições normais. A fraqueza muscular pode ser muito pronunciada logo após a lesão, mas regride consideravelmente com o tempo. Entretanto, o sintoma mais evidente e do qual os doentes não se recuperam é uma incapacidade de realizar movimentos independentes de grupos musculares isolados (perda da capacidade de fracionamento). Assim, os doentes, ou os macacos, no

caso de lesões experimentais, não conseguem mover os dedos isoladamente e não fazem mais oposição entre os dedos polegar e indicador. Desse modo, movimentos delicados, como os de abotoar uma camisa, tornam-se impossíveis. A capacidade de realizar movimentos independentes dos dedos é uma característica exclusiva dos primatas. que se deve à presença neles de fibras do tracto córtico-espinhal que se ligam diretamente aos neurônios motores. A função de possibilitar tais movimentos pode, pois, ser considerada como a função mais importante do tracto córtico-espinhal nos primatas, principalmente porque é exercida exclusivamente por ele c desse modo, cm casos de sua lesão, não pode ser compensada por outros tractos. Além dos déficits motores descritos, a lesão do tracto córtico-espinlial dá origem também ao sinal de Babinski, reflexo patológico que consiste na flexão dorsal do hálux quando se estimula a pele da região plantar.

3.2.2 — Tracto Córtico-Nuclear (Fig. 30.2)

O tracto córtico-nuclear tem o mesmo valor funcional do tracto córtico-espinlial, diferindo deste principalmente pelo fato de transmitir impulsos aos neurônios motores do tronco encefálico e não aos da medula. Assim, o tracto córtico-nuclear põe sob controle voluntário os neurônios motores situados nos núcleos dos nervos cranianos. As libras do tracto córtico-nuclear originam-se principalmente na parte inferior da área 4 (na região correspondente à representação cortical da cabeça), passam pelo joelho da cápsula interna e descem pelo tronco encefálico, associadas ao tracto córtico-espinhal. À medida que o tracto córtico-nuclear desce pelo tronco encefálico, dele se destacam feixes de fibras que vão influenciar os neurônios motores dos núcleos da coluna eferente somática (núcleos do III, IV, VI e XII) c eferente visceral especial (núcleo ambíguo e núcleo motor do V e do VII). Como ocorre no tracto córtico-espinhal, a maioria das fibras do tracto córtico-nuclear faz sinapse com neurônios internunciais situados na formação reticular, próximo aos núcleos motores, e estes, por sua vez, ligam-se aos neurônios motores. Do mesmo modo, muitas libras desse tracto terminam em núcleos sensitivos do tronco encefálico (grácil, cuneiforme, núcleos sensitivos do trigêmeo e núcleo do tracto solitário), relacionando-se com o controle dos impulsos sensoriais.

Embora as semelhanças entre os tractos córtico-espinhal e córtico-nuclear sejam muito grandes, existe uma diferença entre eles que se reveste de grande importância clínica: enquanto as fibras do tracto córtico-espinhal são fundamentalmente cruzadas, o tracto córtico-nuclear tem um grande número de fibras homolaterais. Assim, a maioria dos músculos da cabeça está representada no córtex motor dos dois lados. Essa representação bilateral é mais acentuada nos grupos musculares que não podem ser contraídos voluntariamente de um lado só, como os músculos da laringe e faringe, os músculos da parte superior da face (orbicular, frontal e corrugador do supercílio), os músculos que fecham a mandíbula (masséter, temporal e pterigóideo medial) e os músculos motores do olho. Por esse motivo tais músculos não sofrem paralisia quando o tracto córtico-nuclear é interrompido de um só lado (por exemplo, em uma das cápsulas internas), como ocorre freqüentemente nos acidentes vasculares cerebrais ("derrames" cerebrais). Nesses casos, entretanto, pode haver um ligeiro enfraquecimento dos movimentos da língua, cuja representação no córtex motor já é predominantemente heterolateral e ocorre sempre no lado oposto uma paralisia dos músculos da metade inferior da face, cuja representação é hcterolateral. Assim, os neurônios motores do núcleo do nervo facial, responsáveis pela inervação dos músculos da metade inferior da face, recebem fibras córtico-nucleares do córtex do lado oposto, enquanto os responsáveis pela inervação dos músculos da metade superior da face recebem libras córtico-nucleares do córtex dos dois lados (Fig. 21.3). Esse fato permite distinguir as paralisias faciais centrais das periféricas, como foi exposto no Capítulo 21.

3.3 —VIAS EXTRAPIRAMIDAIS

Por meio dessas vias, algumas estruturas nervosas supra-espinhais exercem influência sobre os neurônios motores da medula, através dos seguintes tractos, que não passam pelas pirâmides bulbares: rubro-espinhal, tecto-espinhal, vestíbulo-espinhal e retículo-espinhal. Esses tractos estão representados no esquema da Fig. 30.3 que mostra também as principais conexões

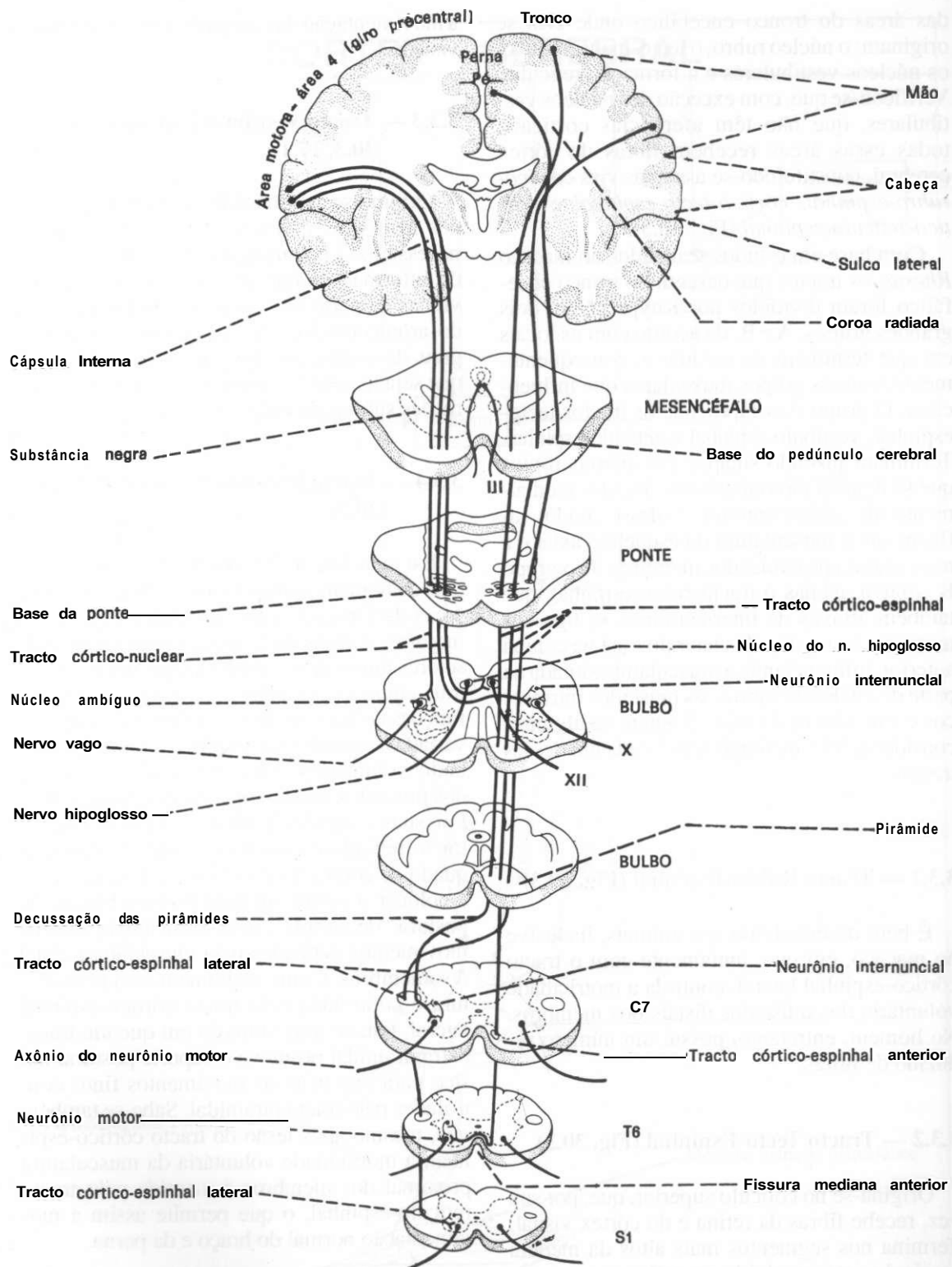



Fig. 30.2 — *Representação esquemática das vias piramidais.*

das áreas do tronco encefálico onde eles se originam: o núcleo rubro, o tecto-mensenfálico, os núcleos vestibulares e a formação reticular. Verificou-se que, com exceção dos núcleos vestibulares, que não têm aferências corticais, todas essas áreas recebem fibras do córtex cerebral, constituindo-se assim as vias *córtico-rubro-espinhal, córtico-tecto-espinhal* e ***cór-tico-retículo-espinhal*** (Fig. 30.3).

Com base em estudos realizados no macaco *Rhesus,* os tractos que descem do tronco encefálico foram divididos por Kuypers* em dois grandes grupos, A e B, de acordo com os locais em que terminam na medula e, conseqüentemente, com os grupos musculares que influenciam. O grupo A compreende os tractos tecto-espinhal, vestíbulo-espinhal e retículo-espinhal. Terminam fazendo sinapse em interneurônios que se ligam a motoneurônios situados medialmente na coluna anterior e, desse modo, influenciam a musculatura do esqueleto axial e a musculatura proximal dos membros. Já o grupo B contém apenas o tracto rubro-espinhal, que também através de interneurônios se liga aos motoneurônios situados lateralmente na coluna anterior, influenciando a musculatura situada na parte distal dos membros: os músculos intrínsecos e extrínsecos da mão. Seguem-se algumas considerações funcionais sobre cada um desses tractos.

3.3.1 — Tracto Rubro-Espinhal (Fig. 30.3)

É bem desenvolvido nos animais, inclusive no macaco, em que, juntamente com o tracto córtico-espinhal lateral, controla a motricidade voluntária dos músculos distais dos membros. No homem, entretanto, possui um número reduzido de fibras.

3.3.2 — Tracto Tecto-Espinhal (Fig. 30.3)

Origina-se no colículo superior, que, por sua vez, recebe libras da retina e do córtex visual. Termina nos segmentos mais altos da medula cervical e está envolvido em reflexos nos quais a movimentação da cabeça decorre de estímulos visuais.

3.3.3 — Tracto Vestíbulo-Espinhal* (Figs. 30.3, 17.1)

Origina-se nos núcleos vestibulares e leva aos neurônios motores os impulsos nervosos necessários à manutenção do equilíbrio a partir de informações que chegam a esses núcleos, vindas da parte vestibular do ouvido interno e do arquicerebelo. São feitos assim ajustes no grau de contração dos músculos, permitindo que seja mantido o equilíbrio mesmo após alterações súbitas do corpo no espaço.

3.3.4 — Tracto Retículo-Espinhal** (Fig. 30.3)

É o mais importante dos tractos extrapiramidais no homem promovendo a ligação de várias áreas da formação reticular com os neurônios motores. A essas arcas chegam informações de setores muito diversos do sistema nervoso central, como o cerebelo e o córtex motor. As funções do tracto retículo-espinhal são também variadas e envolvem o controle dc movimentos tanto voluntários como automáticos, a cargo dos músculos axiais e proximais dos membros. Por suas conexões com a área pré-motora, o tracto retículo-espinhal determina o grau adequado de contração desses músculos, dc modo a colocar o corpo em uma postura básica, ou postura "de partida", necessária à execução de movimentos delicados pela musculatura distal dos membros. Como no homem essa musculatura é controlada pelo tracto córtico-espinhal lateral, tem-se uma situação em que um tracto extrapiramidal promove o suporte postural básico para execução de movimentos finos controlados pelo tracto piramidal. Sabe-se também que, mesmo após lesão do tracto córtico-espinhal, a motricidade voluntária da musculatura proximal dos membros é mantida pelo tracto retículo-espinhal, o que permite assim a movimentação normal do braço e da perna.

* *Kuypers, H.G.J.M. — 1981 — Anatomy of the descending pathways. In V.B. Brooks (ed) Handbook of Physiology, section 1: the nervous system, vol. II. Motor Control.*

* *Na realidade existem dois tractos vestíbulo-espinhais, lateral c anterior. Veja o rodapé da página 157.*

** *Na realidade existem dois tractos retículo-espinhais lateral c anterior. Veja o rodapé da página 157.*

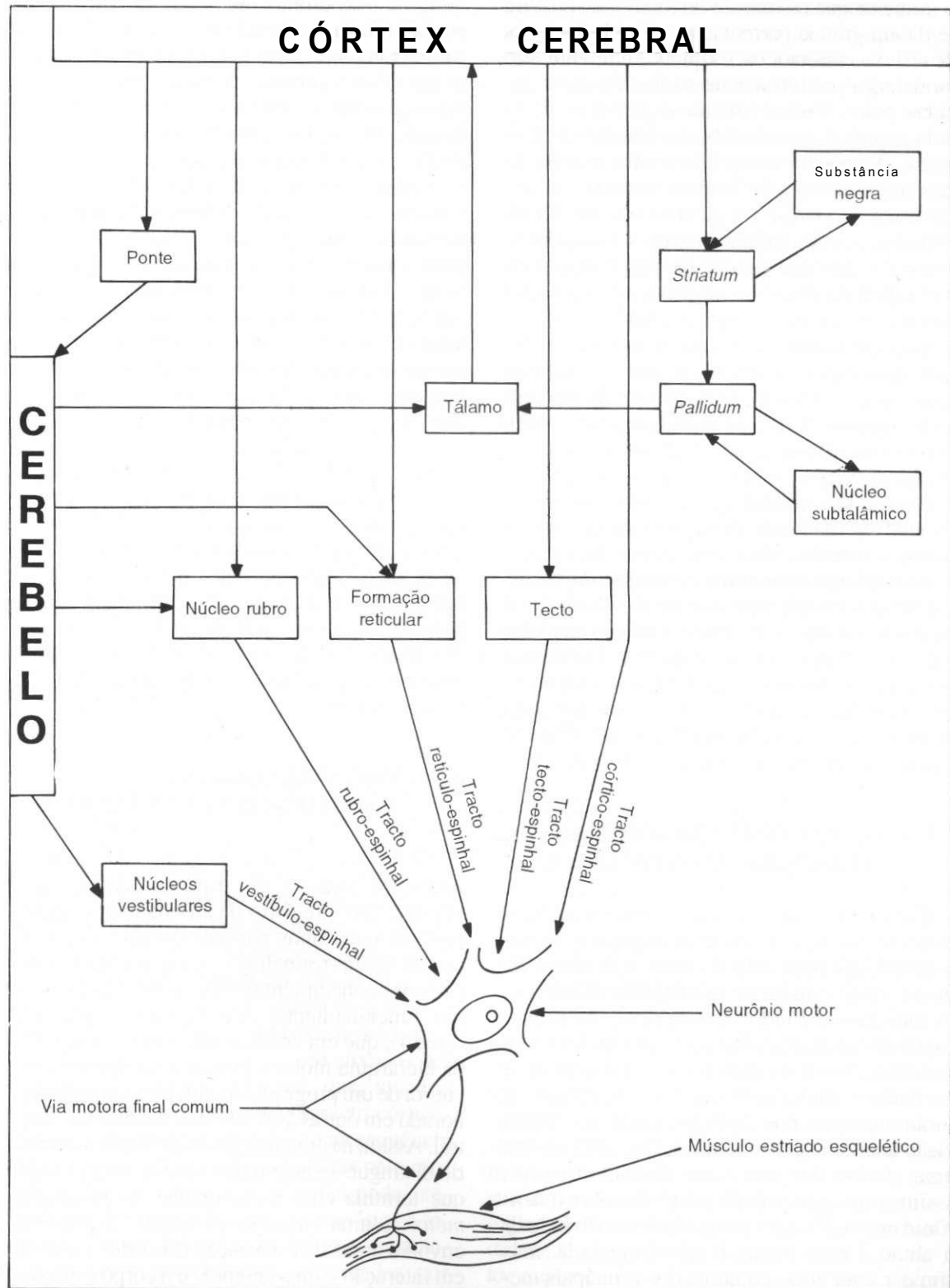



Fig. 30.3 — *Representação esquemática das vias motoras somáticas. (Não são mostrados os interneurônios de ligação entre as fibras descendentes e o neurônio motor.)*

Sabe-se que o controle do tônus e da postura se dá em grande parte a nível medular, através de reflexos miotáticos, os quais, entretanto, são modulados por influências supramedulares trazidas pelos tractos retículo-espinhal e vestíbulo-espinhal, agindo sobre os neurônios alfa e gama. Quando há desequilíbrio entre as influências inibidoras ou facilitadoras trazidas por esses tractos, pode-se ter quadros cm que há hipertonia, em determinados grupos musculares, como na chamada rigidez de decerebração ou nas hipertonias que se seguem aos acidentes vasculares cerebrais (espasticidade).

O tracto retículo-espinhal pode estar envolvido também no controle da marcha. Sabe-se hoje que esta depende basicamente de um centro locomotor situado na medula lombar, o qual, mesmo na ausência de qualquer informação sensorial, é capaz dc gerar os impulsos nervosos necessários à manutenção rítmica dos movimentos alternados de flexão e extensão, necessários à marcha. Esse centro, por sua vez, é comandado por um outro centro locomotor situado na formação reticular do mesencéfalo, o qual exerce sua ação sobre o centro medular através do tracto retículo-espinhal. Verifica-se assim que o tracto retículo-espinhal e suas conexões supra-segmenares são responsáveis pela maioria das funções que genericamente se atribuía ao antigo "sistema extrapiramidal".

3.4 — VISÃO CONJUNTA DAS VIAS EFERENTES SOMÁTICAS

Como já foi visto, as vias eferentes somáticas estabelecem ligação entre as estruturas supra-segmentares relacionadas com o controle da motricidade somática c os efetuadores, ou seja. os músculos estriados esqueléticos. As principais estruturas relacionadas com a motricidade somática, como o cerebelo, o corpo estriado c os núcleos motores do tronco encefálico, já foram descritas nos capítulos anteriores, numa visão analítica. O esquema da Fig. 30.3 mostra uma síntese das conexões dessas estruturas, assim como suas vias de projeção sobre o *neurônio motor.* Ele tem como objetivo não induzir o aluno a uma memorização exagerada, mas sim dar uma visão conjunta dos principais mecanismos que regulam a motricidade somática. O esquema mostra as principais conexões do cerebelo com suas projeções para o córtex cerebral e o neurônio motor, as principais conexões do corpo estriado e suas conexões com o córtex cerebral através do circuito córtico-estriado-tálamo-cortical; as projeções do córtex cerebral sobre o neurônio motor diretamente, através dos tractos córtico-espinhal e cortico-nuclear, ou indiretamente, através das vias córtico-rubro-espinhal, córtico-retículo-espinhal e córtico-tecto-espinhal. Entretanto, o fato mais importante que o esquema mostra é que, em última análise, todas as vias que influenciam a motricidade somática convergem sobre o neurônio motor que, por sua vez, inerva a musculatura esquelética. Sabe-se que um neurônio motor da coluna anterior da medula espinhal do homem pode receber 1.500 botões sinápticos. o que dá uma idéia do grande número de fibras excitadoras e inibidoras que atuam sobre ele. Assim, o neurônio motor primário constitui a *via motora final comum* de todos os impulsos que agem sobre os músculos estriados esqueléticos. Cabe lembrar ainda que na coluna anterior da medula esses neurônios motores se distribuem em dois grupos: um grupo medial, responsável pela inervação dos músculos axiais e proximais dos membros, e um grupo lateral, responsável pela inervação da musculatura distal dos membros.

3.5 — ORGANIZAÇÃO DO MOVIMENTO VOLUNTÁRIO

Nos últimos 15 anos, o avanço das técnicas neurobiológicas — em especial daquelas que possibilitam o registro da atividade dos neurônios cm indivíduos normais durante a realização de tarefas rotineiras — causou uma revolução nos conhecimentos sobre o sistema motor c seu funcionamento. A área motora primária (área 4), que era considerada o ponto mais alto da hierarquia motora, passou a ser apenas executora de um programa motor, previamente elaborado em outras áreas do sistema nervoso central. Assim, na organização do ato motor voluntário distingue-se hoje uma *etapa de preparação.* que termina com a elaboração do *programa motor,* e uma *etapa de execução.* A primeira envolve áreas de associação do córtex cerebral em interação com o cerebelo e o corpo estriado. A segunda envolve as áreas motora e pré-motora do córtex e suas ligações diretas e indiretas com os neurônios motores. Como parte da etapa

de execução, temos também os mecanismos que permitem ao sistema nervoso central promover os necessários ajustes e correções no movimento já iniciado. Esse esquema de organização do ato motor voluntário encontra apoio não só nas conexões das áreas envolvidas, a maioria das quais já foi estudada, mas também em pesquisas neurofisiológicas que mostram uma seqüência temporal de ativação das diversas áreas. Assim, observou-se o aparecimento dos chamados *potenciais de preparação* em áreas de associação do córtex, como a área motora suplementar, até um segundo antes do início do movimento, seguindo-se a ativação das áreas motora e pré-motora e o início do movimento. Sabe-se ainda que o corpo estriado e o núcleo denteado do cerebelo são também ativados antes do início do movimento.

Para que se tenha uma visão integrada do papel dos diversos setores do sistema motor envolvidos na organização de um movimento voluntário delicado, imaginemos o caso dc um cirurgião ocular que está prestes a fazer uma incisão na córnea de um paciente, o que envolve movimentos precisos dos dedos da mão que segura um bisturi. A intenção de realizar a incisão depende das áreas de associação supramodais do córtex, onde estão armazenadas todas as informações que ele tem sobre as características da incisão e sua adequação às condições daquele paciente. Essas informações são transmitidas para as áreas encarregadas de elaborar o programa motor: a zona lateral do cerebelo, através da via córtico-ponto-cerebelar, o corpo estriado e a área motora suplementar. Nessas áreas é elaborado o programa motor que define quais músculos serão contraídos, assim como o grau e a seqüência temporal das contrações. Esse programa é então enviado à área motora (4), principal responsável pela execução do movimento da mão. Desse modo são ativados determinados neurônios corticais, que, atuando sobre os neurônios motores via tracto córtico-espinhal, determinam a contração na seqüência adequada dos músculos responsáveis pelo movimento da mão. Assim, o cirurgião pode executar os movimentos precisos necessários à inisão na córnea. Informações sobre as características desses movimentos, detectados por receptores proprioceptivos, são levadas à zona intermédia do cerebelo pelos tractos espino-cerebelares. O cerebelo pode então comparar as características do movimento executado com o programa motor e promover as correções necessárias, agindo sobre a área motora através da via interpósito-talamo cortical. Um outro mecanismo que permite correções no movimento já iniciado é o chamado *reflexo transcortical,* através do qual informações sensoriais proprioceptivas e exteroceptivas originadas no segmento onde ocorre o movimento, ou seja, no exemplo citado, na mão do cirurgião, por vias ainda pouco conhecidas, podem modificar a atividade dos próprios neurônios corticais responsáveis pelo movimento.

Cabe assinalar que a situação exemplificada acima foi propositalmente simplificada, já que descreve apenas os mecanismos nervosos envolvidos nos movimentos realizados pela mão do cirurgião. Na realidade, a situação é mais complicada, uma vez que, para que sua mão possa realizar tais movimentos com precisão, deve ser mantido o equilíbrio, e seu corpo, em especial seu braço, deve estar em uma postura apropriada, o que envolve a contração adequada dos músculos do tronco e da musculatura proximal dos membros. Para isso é necessário um comando voluntário feito pela via córtico-retículo-espinhal (não se podendo excluir também um componente córtico-espinhal), além de uma ação controladora a cargo do arquicerebelo e da zona medial do cerebelo, que ama pelos tractos vestíbulo-espinhal e retículo-espinhal. Conclui-se que, do ponto de vista neurológico, o ato motor de uma incisão cirúrgica é extremamente complicado e envolve a participação de todo o sistema nervoso eferente somático.

3.6 — LESÕES DAS VIAS MOTORAS SOMÁTICAS

Em várias partes deste livro foram descritos os sintomas que decorrem de lesões do sistema nervoso eferente somático e que permitem caracterizar as várias síndromes do cerebelo, dos núcleos da base, assim como aquelas das vias motoras da medula e do tronco encefálico. Por sua importância fundamental em clínica neurológica, estudaremos agora com mais profundidade as chamadas *síndrome do neurônio motor superior* e a *síndrome do neurônio motor inferior.* Nesta última síndrome, que ocorre, por exemplo, na paralisia infantil, há destruição do neurônio motor inferior situado na coluna ante-

rior da medula ou em núcleos motores de nervos cranianos. Nesse caso há paralisia com perda dos reflexos e do tônus muscular (paralisia flácida), seguindo-se, depois de algum tempo, hipotrofia dos músculos inervados pelas fibras nervosas destruídas. A síndrome do neurônio motor superior ocorre com maior freqüência nos acidentes vasculares cerebrais (os chamados derrames cerebrais), que acometem a cápsula interna ou a área motora do córtex. Após um rápido período inicial de paralisia flácida, instala-se uma paralisia espástica (com hipertonia e hiper-reflexia), com presença do sinal de Babinski (veja Capítulo 21, item 2.1). Nesse caso, praticamente não há hipotrofia muscular, pois o neurônio motor inferior está intacto. Tradicionalmente admitia-se que a sintomatologia observada na síndrome do neurônio motor superior se devia à lesão do tracto córtico-espinhal, daí o nome *síndrome piramidal* freqüentemente atribuído a ela. Entretanto, sabe-se hoje que a sintomatologia observada nesses casos não pode ser explicada apenas pela lesão do tracto-córtico-espinhal, que, como já foi visto no item 3.4.1, resulta em déficit motor relativamente pequeno, nunca associado a um quadro de espasticidade. Ela envolve necessariamente outras vias motoras descendentes, como a córtico-retículo-espinhal e córtico-rubro-espinhal. Assim, nos casos de síndromes motoras do tronco encefálico em que ocorre hemiplegia, as lesões nunca se restringem exclusivamente ao tracto córtico-espinhal. Desse modo, o nome *síndromepiramidal,* embora ainda muito empregado em clínica neurológica, é impróprio. Na realidade, nessa síndrome, a expressão "síndrome do neurônio motor superior" deveria ser empregada no plural, por se referir a vários neurônios motores superiores e não apenas àqueles que originam o tracto córtico-espinhal. Um outro ponto ainda controvertido sobre a síndrome do neurônio motor superior refere-se à fisiopatologia da *espasticidade,* ou seja, ao quadro em que há aumento do tônus e exagero dos reflexos, que ocorreu nessa síndrome. Como no caso das lesões restritas do tracto córtico-espinhal não aparece o quadro de espasticidade, fica excluída a possibilidade de que a lesão dessas fibras seja responsável pelo fenômeno. Acredita-se que esse quadro resulte de um aumento na excitabilidade dos motoneurônios alfa e gama, decorrente da lesão de fibras que normalmente exercem ação inibidora sobre eles, como algumas fibras retículo-espinhais. Entretanto, a fisiopatologia da espasticidade observada na síndrome "piramidal" não foi ainda completamente elucidada. Também não foi esclarecida a fisiopatologia do sinal de Babinski, embora se saiba que, ao contrário do que ocorre com a espasticidade, ele se deve exclusivamente à lesão do tracto córtico-espinhal. As considerações feitas neste capítulo mostram que as idéias relativas à fisiopatologia do tracto córtico-espinhal e demais vias motoras mudaram consideravelmente nos últimos anos, restando, entretanto, muitos pontos importantes a serem esclarecidos.

Capítulo 31

Modernas Técnicas de Neuroimagem

1.0 — GENERALIDADES

Para o estudo das afecções que acometem o sistema nervoso central, freqüentemente o neurologista precisa usar técnicas que lhe permitam obter imagens do encéfalo e da medula. Para isso, a radiografia simples é de pouca utilidade. O raios X, embora útil para o estudo do crânio, não tem resolução suficiente que permita distinguir as estruturas encefálicas. Pode-se, entretanto, visualizar artérias ou os ventrículos cerebrais através da introdução de contrastes radiopacos por técnicas conhecidas, respectivamente, como arteriografias e ventriculografias. No caso dos ventrículos, pode-se também introduzir ar (pneumencefalografias). Modernamente, entretanto, são usadas apenas as arteriografias.

Na última década, a neuroimagem — designação que hoje substitui neurorradiologia — sofreu uma revolução com a descoberta de três novas técnicas de grande sofisticação: a *tomografia computadorizada*, a *tomografia por ressonância nuclear magnética* e a *tomografia por emissão de pósitrons.* Embora fundamentadas em princípios físicos diferentes, essas técnicas têm algumas características em comum, a saber:

a) não são invasivas, ou seja, a sua execução não exige a introdução de substâncias diretamente no sistema nervoso central. Sendo assim, não oferecem qualquer risco ao paciente;
b) devido à sua grande resolução, permitem distinguir diversas estruturas do sistema nervoso central;
c) as imagens são mostradas em um só plano correspondente a uma secção ou "corte" da formação anatômica a ser visualizada, donde a expressão técnicas tomográficas.

Com o auxílio dessas técnicas, foi possível, pela primeira vez, estudar a anatomia do sistema nervoso central no indivíduo vivo, em condições normais e patológicas. Por isso, seu emprego trouxe enorme avanço à neurologia. Entretanto, para interpretar as imagens obtidas, o médico precisa ter um bom conhecimento da neuroanatomia, o que torna essa disciplina ainda mais importante. A seguir, faremos uma rápida descrição das características básicas de cada uma dessas técnicas, apresentando também figuras representativas dos "cortes" mais usados na prática médica. O estudo dessas figuras permitirá ao aluno utilizar os conhecimentos que obteve em cortes anatômicos do encéfalo de cadáveres para interpretação de "cortes" tomográficos do encéfalo de indivíduos vivos.

2.0 — TOMOGRAFIA COMPUTADORIZADA

Esta técnica emprega fontes múltiplas de raios X capazes de produzir feixes muito estreitos e paralelos que percorrem ponto a ponto o plano que se pretende visualizar no encéfalo ou na medula, medindo então a radiodensidade de cada ponto. Os dados obtidos da medida de milhares de pontos são levados a um computador e por ele utilizados para a construção da imagem. A técnica, hoje largamente utilizada, mostra facilmente sangue, liquor e tecido nervoso, permitindo ainda a identificação das áreas maiores de substâncias branca e cinzenta. As

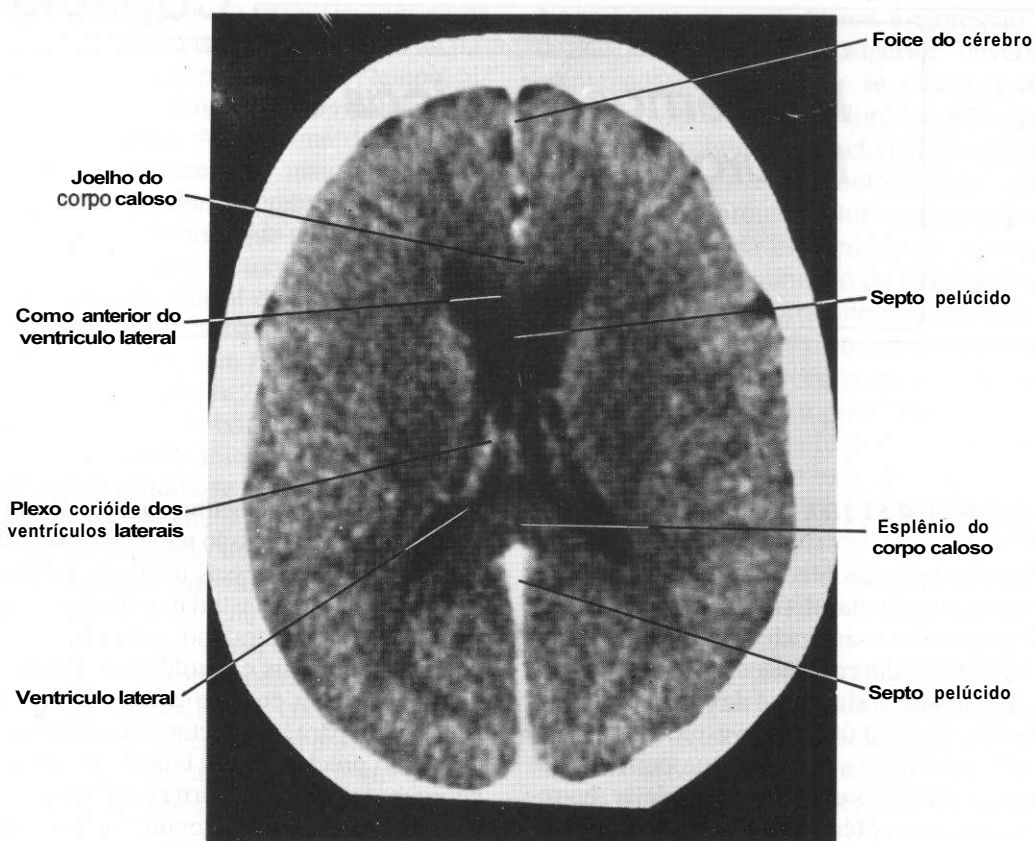



Fig. 31.1 — *Tomografia computadorizada. Corte horizontal passando pelos ventrículos laterais. (Gentileza do Dr. José Antônio Rodrigues.)*

Figs. 31.1 a 31.3 mostram alguns cortes representativos de encéfalo obtidos com essa técnica.

3.0 — TOMOGRAFIA POR RESSONÂNCIA NUCLEAR MAGNÉTICA

Esta técnica difere essencialmente da anterior porque não emprega raios X. Ela se baseia na propriedade que têm certos núcleos atômicos de sofrer o fenômeno de ressonância e, conseqüentemente, emitir sinais de radiofreqüência quando colocados em campos magnéticos adequados*. Essa propriedade é especialmente evidente nos átomos de hidrogênio que compõem as moléculas de água e, assim, essa técnica coasegue distinguir tecidos com base em seu teor de água. O tecido ósseo, por exemplo, que praticamente não contém água livre, não produz imagem. A técnica apresenta uma resolução muito maior do que a obtida pela tomografia computadorizada de raios X, aproximando-se da que se consegue em secções anatômicas de encéfalos fixados em formol. Distingue-se, facilmente, a substância branca da cinzenta, e até mesmo pequenas massas de substância cinzenta como a do núcleo rubro ou da substância negra, podem ser visualizadas. Lamentavelmente, entretanto, o equipamento necessário para esse tipo de técnica é extremamente dispendioso, o que limita consideravelmente seu emprego. As Figs. 31.4 e 31.5 mostram alguns "cortes" obtidos por ressonância nuclear magnética e permitem comparação com os obtidos com a tomografia de raios X.

* *As bases físicas da produção de imagem por ressonância nuclear magnética são bastante complicadas. O assunto é discutido em Panepucci, H.; Donoso, J.P.; Beckman, N. e Bonagamba, T. — 1985 —* Ciência Hoje, *4 (20):46-56.*

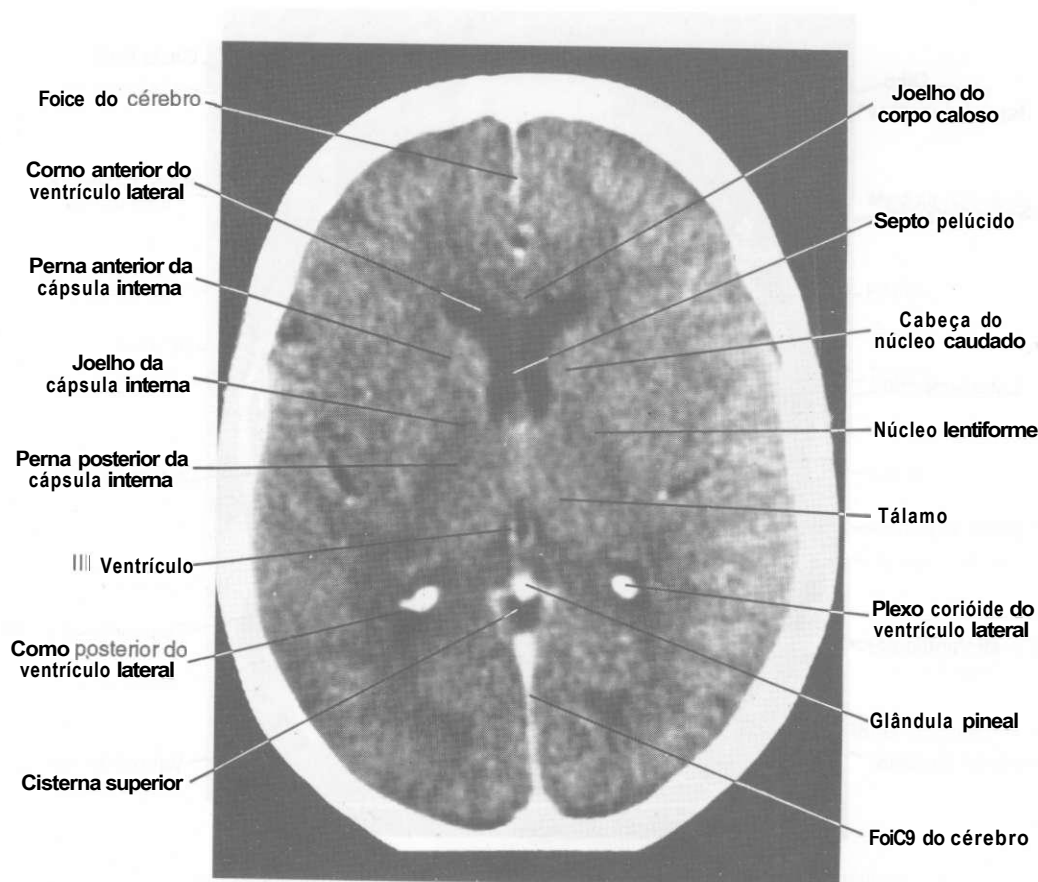



Fig. 31.2 — *Tomografia computadorizada. Corte horizontal passando pelos núcleos da base. (Gentileza do Dr. José Antônio Rodrigues.)*

4.0 — TOMOGRAFIA POR EMISSÃO DE PÓSITRONS

Mais conhecida como PET (Positron Emission Tomography), essa técnica permite estudar ao mesmo tempo aspectos morfológicos e funcionais de áreas cerebrais. Para isso, os indivíduos inalam ou recebem injeção de isótopos capazes de emitir pósitrons, como, por exemplo, o flúor. A formação da imagem vai depender da distribuição e da concentração desses isótopos nos tecidos. Acoplando-se esses isótopos às moléculas de compostos biológicos relevantes, como a glicose e neurotransmissores, pode-se mapear sua distribuição no cérebro de indivíduos durante o exercício de diferentes atividades. Como a captação de glicose pelos neurônios é proporcional à sua atividade, a técnica permite estudar a atividade de pequenas áreas do cérebro de um indivíduo em diferentes condições normais e patológicas. Assim, por exemplo, pode-se localizar com precisão as áreas corticais, que são ativadas quando o indivíduo é submetido a diversos estímulos sensoriais, quando executa um ato motor ou até mesmo na fase dc planejamento desse ato. Essa técnica contribuiu enormemente para o avanço da anatomia funcional e da fisiopatologia do sistema nervoso, prestando-sc também ao uso em clínica neurológica. Seu emprego, entretanto, é limitado pelo alto custo dos procedimentos técnicos envolvidos.

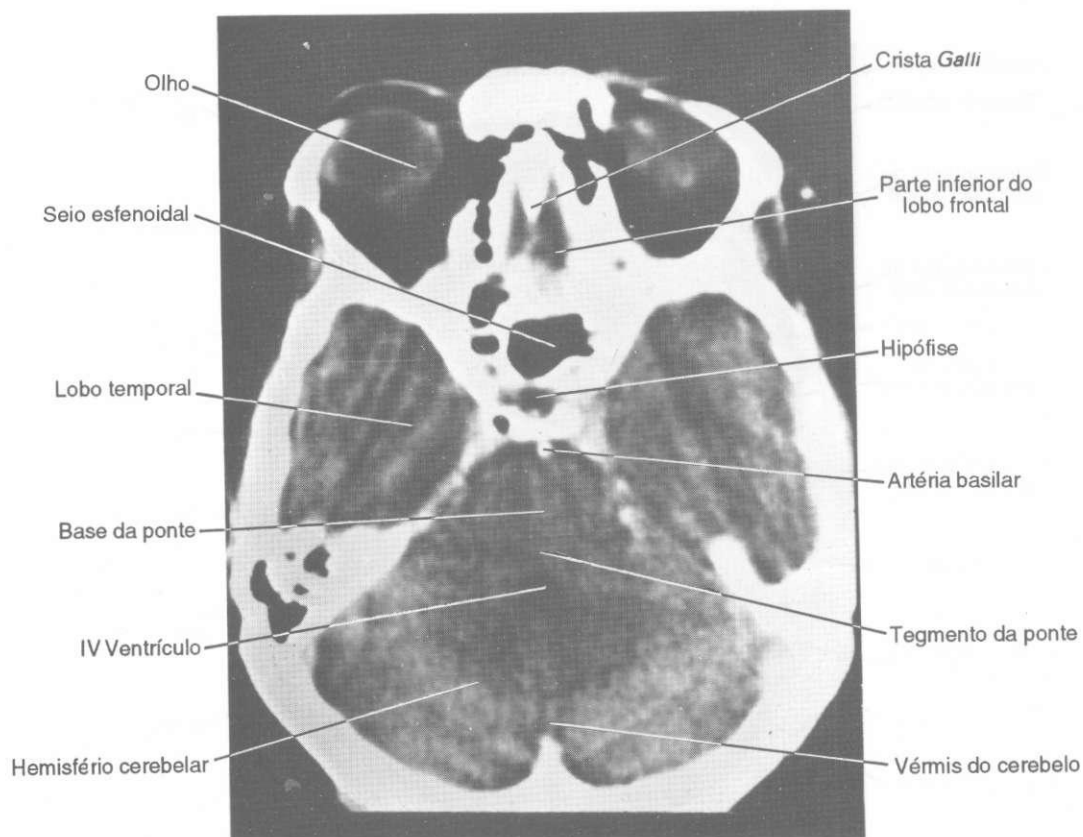



Fig. 31.3 — *Tomografia computadorizada. Corte horizontal passando pela fossa posterior do crânio. (Gentileza do Dr. José Antônio Rodrigues.)*

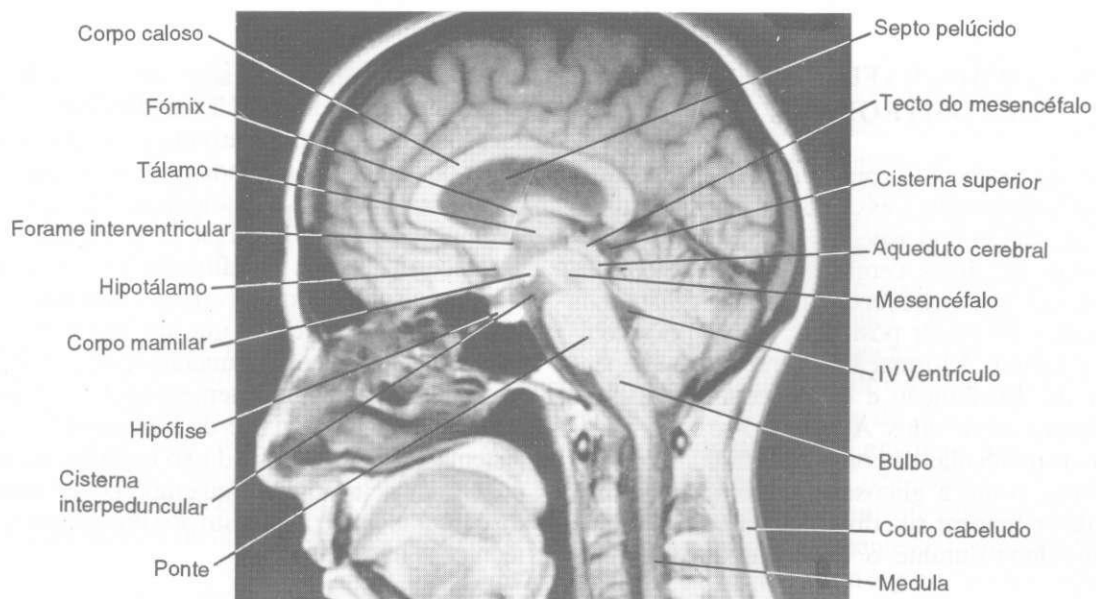



Fig. 31.4 — *Tomografia por ressonância nuclear magnética. Corte sagital mediano. (Gentileza do Dr. Guilherme Cabral Filho.)*

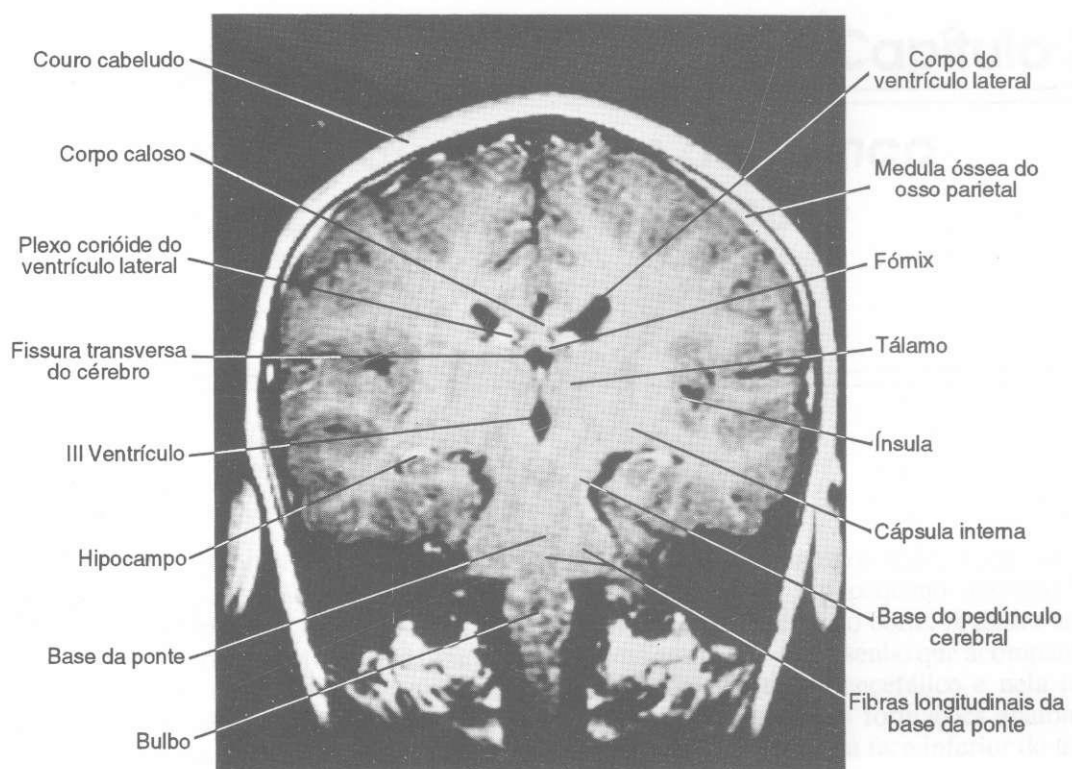



Fig. 31.5 — *Tomografia por ressonância nuclear magnética. Corte frontal passando pelo tálamo e pedúnculos cerebrais. (Gentileza da Dra. Lúcia Ribeiro Machado.)*

Capítulo 32

Atlas de Secções de Tronco Encefálico e de Cérebro

Este Atlas tem como objetivo orientar o aluno no estudo da estrutura do tronco encefálico e do cérebro, complementando as descrições e as ilustrações inseridas no texto. As figuras de tronco encefálico representam secções transversais coradas pelo método de Weigert para mielina. Assim, as fibras mielínicas coram-se em negro e a substância cinzenta aparece como áreas claras. As figuras 32.11 a 32.20 são fotografias de fatias espessas de cérebro coradas pelo método de Barnard, Roberts e Brown*. Neste método a substância cinzenta se cora em azul pois sobre ela forma-se o azul-da-prússia*. Para facilitar a compreensão, cada figura é acompanhada de um pequeno desenho onde está indicado o nível do corte. A figura abaixo é uma ampliação do desenho que acompanha as ilustrações de tronco encefálico e nela foram indicadas as principais formações anatômicas que podem ser vistas na face inferior do tronco encefálico.

---

* *Para mais detalhes sobre o método de Barnard, Roberts e Browm, veja Rodrigues, H. — 1973 — Técnicas Anatômicas, Imprensa Universitária da Universidade Federal de Juiz de Fora.*

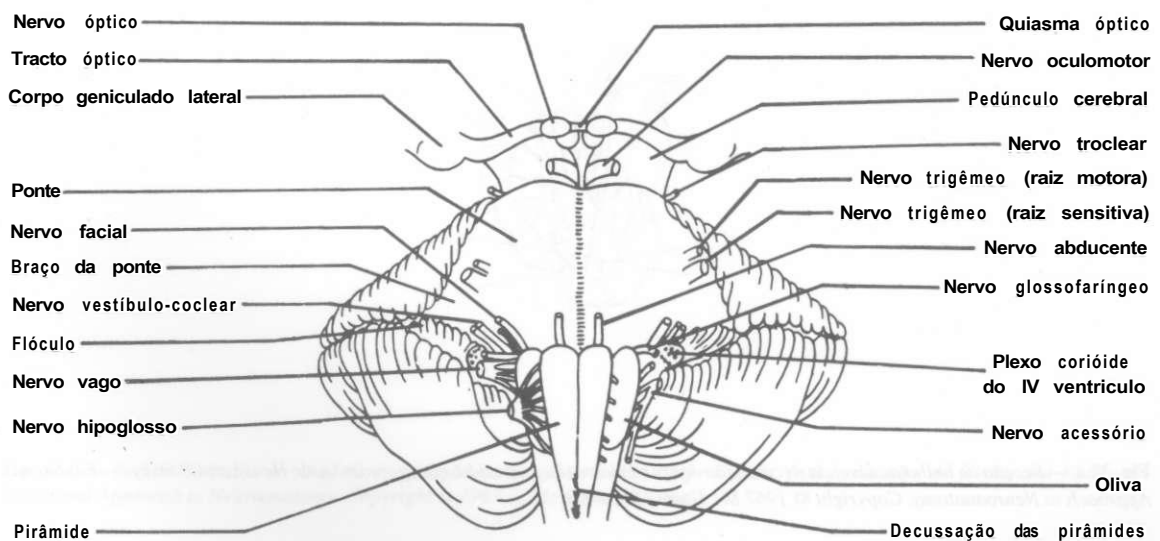
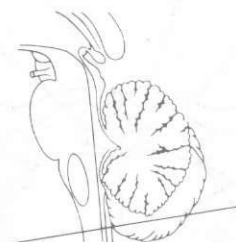
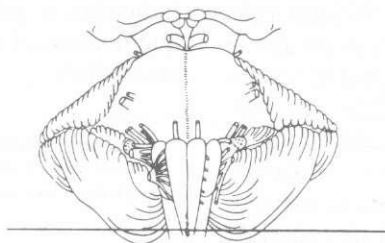
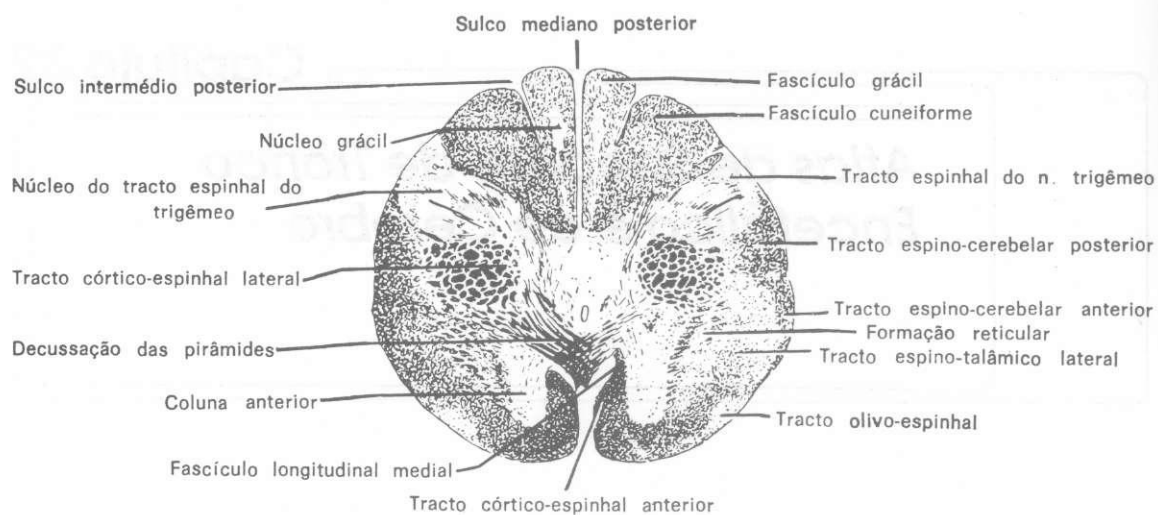



Fig. 32.1 — *Secção de bulbo ao nível da decussação das pirâmides. (Reproduzido, com permissão, dc House and Pansky — Functional Approach to Neuroanatomy. Copyright © 1967 Mc Graw-Hill Inc.).*

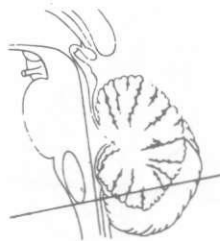
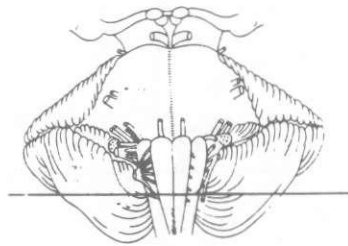
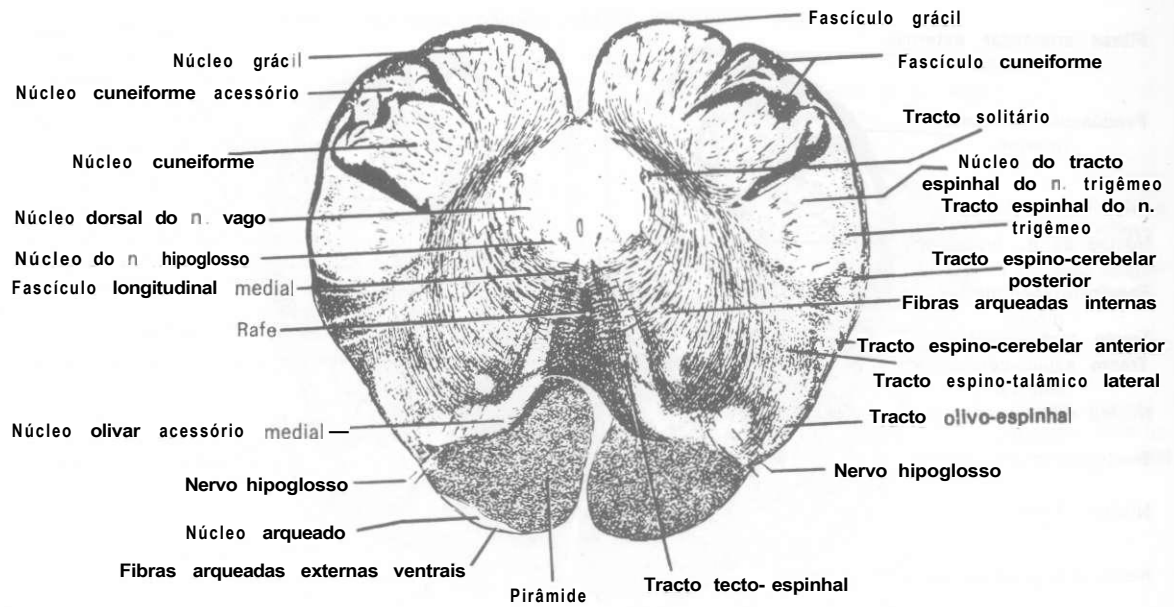



Fig. 32.2 — *Secção de bulbo ao nível da decussação do lemnisco medial (Reproduzido, com permissão, de House and Panky — Functional Approach to Neuroanatomy. Copyright ©1967 dc Mc Garw-Hill,Inc.).*

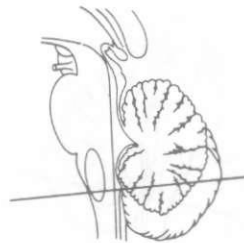
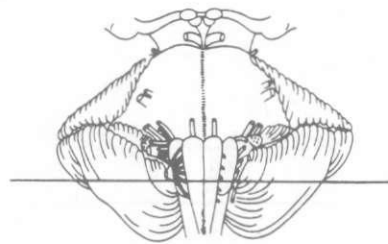
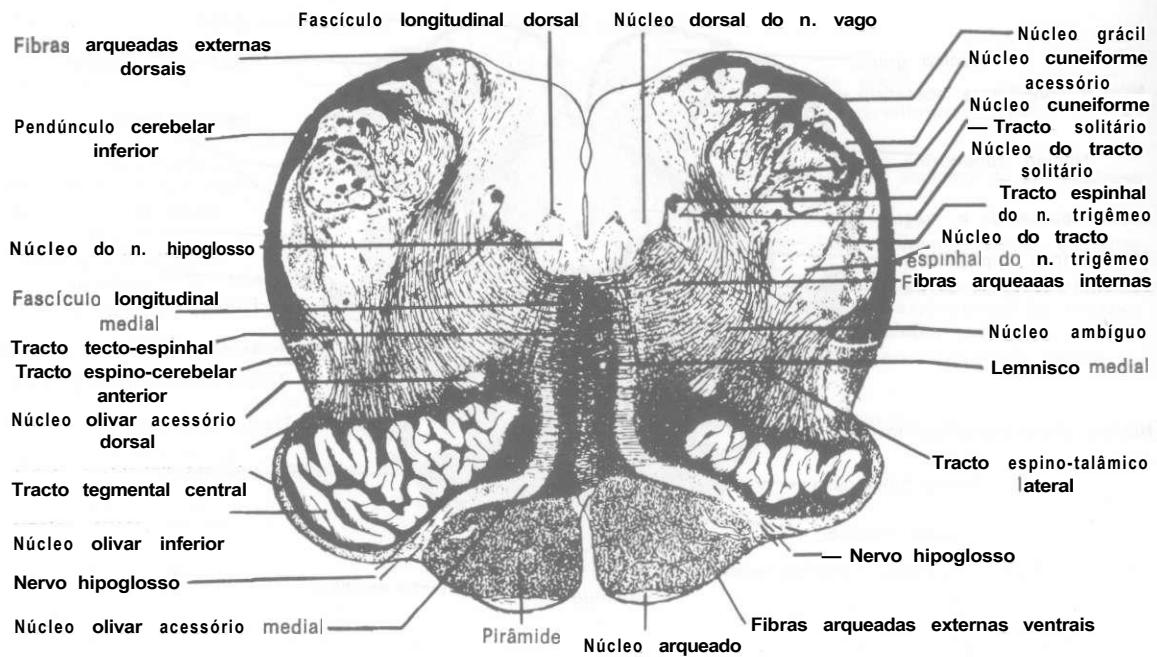



Fig. 32.3 — *Secção dc bulbo ao nível do terço da oliva (Reproduzido, com permissão dc House and Pansky — Functional Approach to Neuroanatomy. Copyright © 1967 de Mc Craw-Hill. Inc.).*

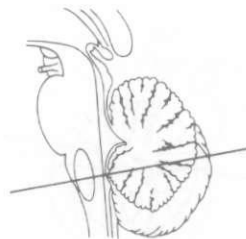
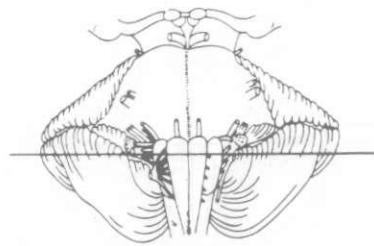
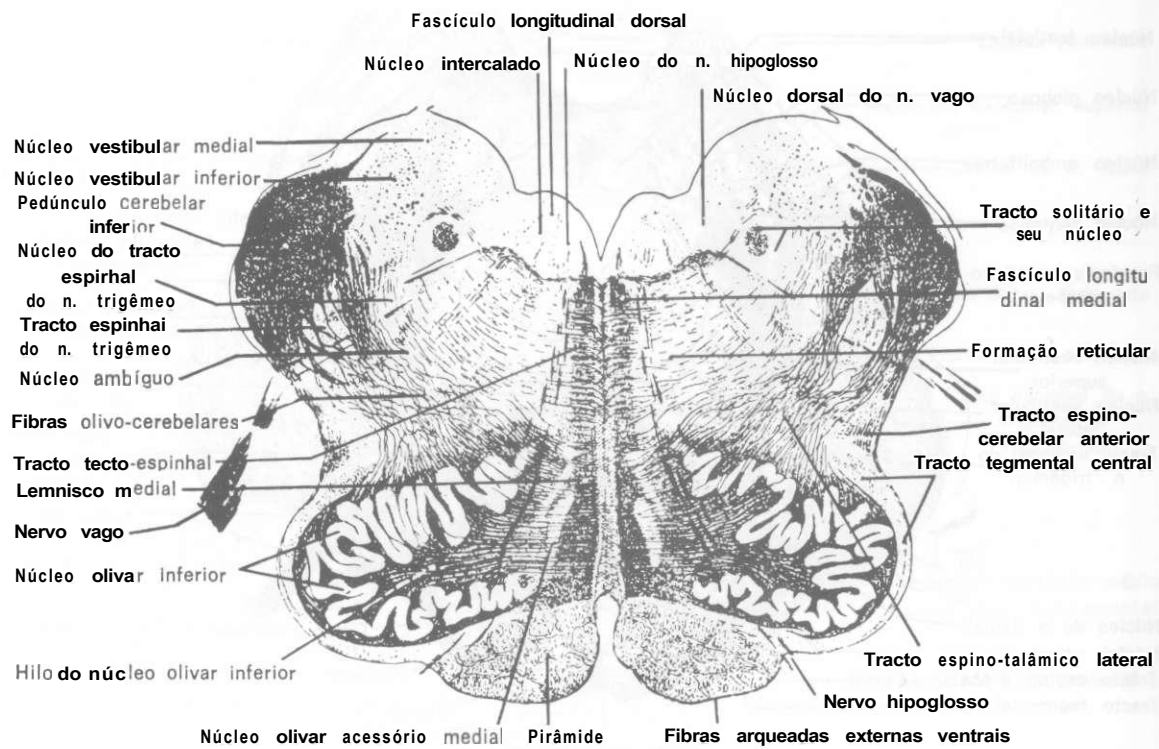



Fig. 32.4 — *Secção dc bulbo ao nível da parte média da oliva (Reproduzido, com permissão, de House and Pansky — Functional Approach to Neuroanatomy. Copyright © 1967 de Mc Graw-Hill Inc.).*

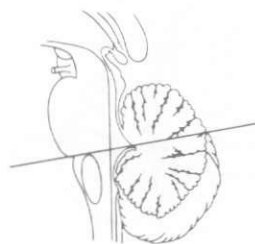
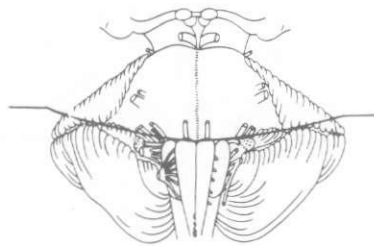
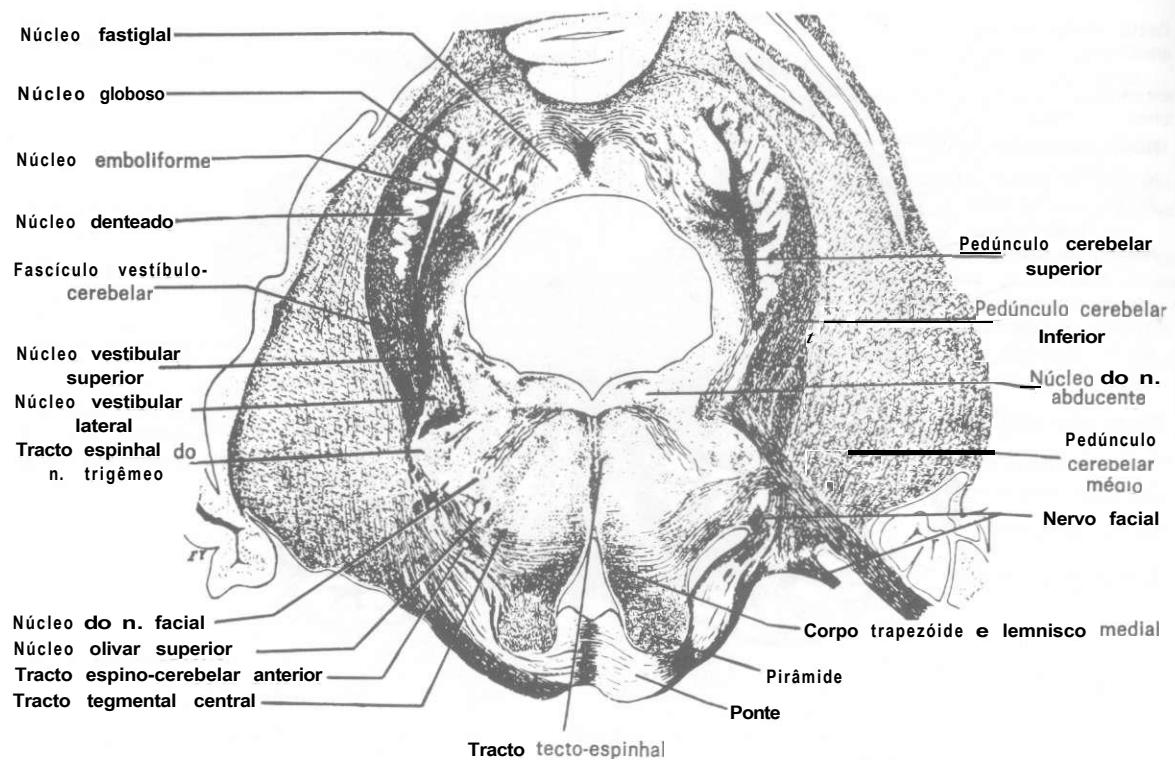



Fig. 32.5 — *Secção de ponte na sua transição com o bulbo, ao nível da origem aparente do nervo vestíbulo-coclea(Reproduzido, com permissão dc House and Pansky - -Functional Approach to Neuroanatomy. Copyright© 1967 de Mc Graw-HillInc.).*

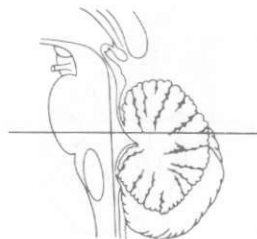
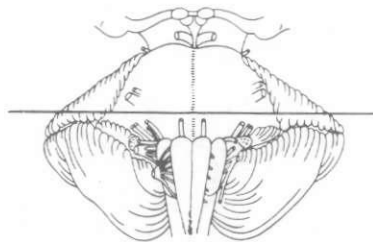
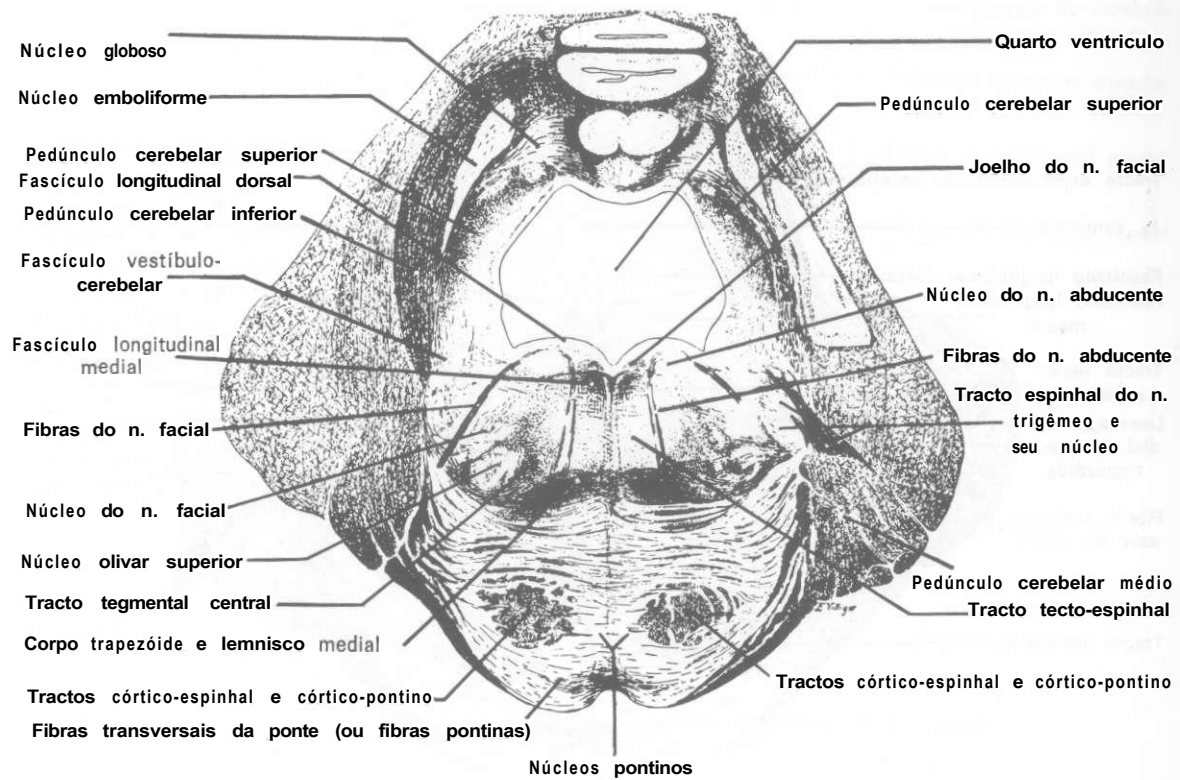



Fig. 32.6 — *Secção dc ponte ao nível do colículo facial. (Reproduzido, com permissão, dc House and Pansky — Functional Approach to Neuroanatomy. Copyright© 1967 de Mc Graw-Hill, Inc.).*

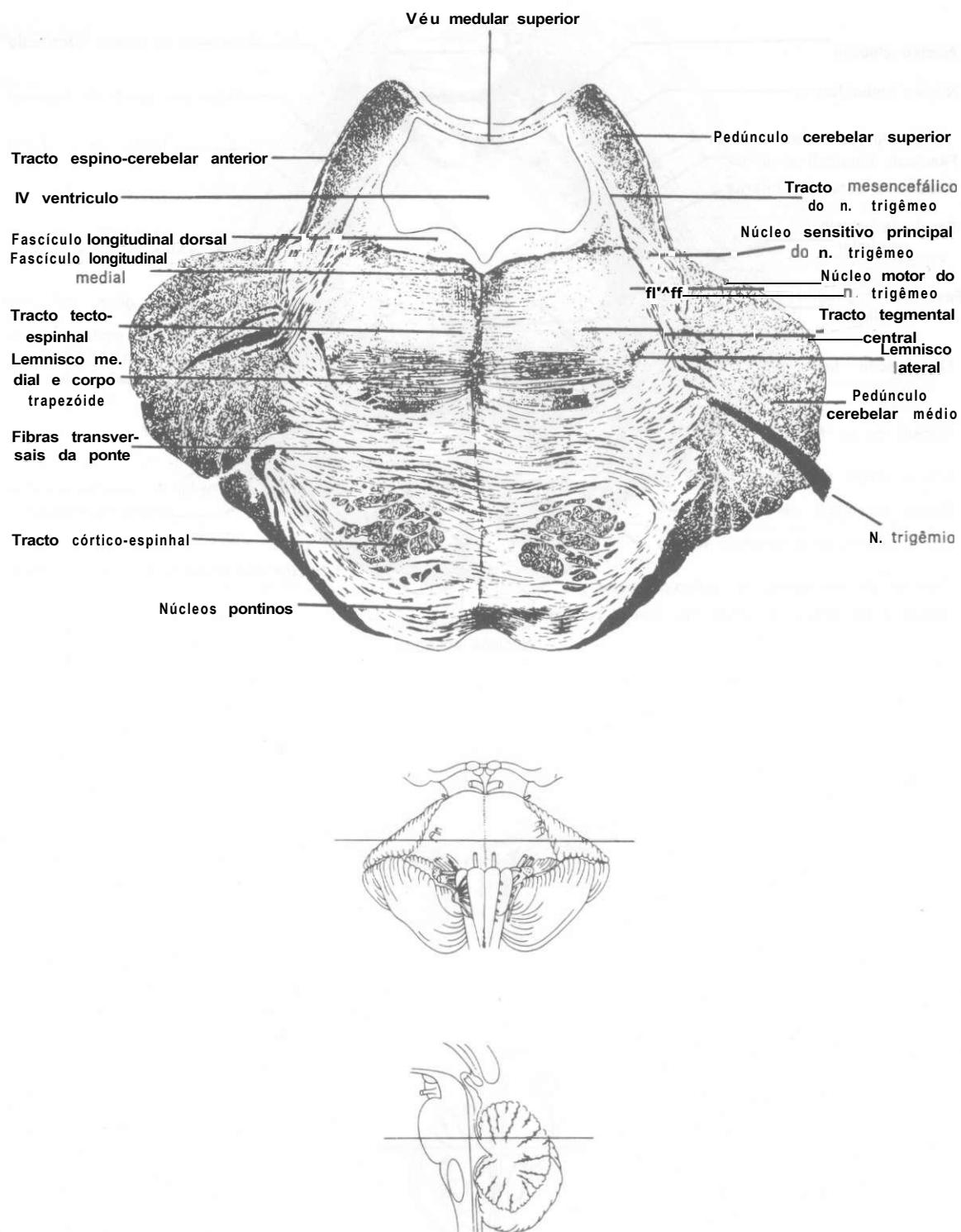



Fig. 32.7 — Secção dc ponte ao nível da origem aparente do nervo trigêmeo (Reproduzido, com permissão, de House and Pansky — Functional Approach to Neuroanatomy. Copyright ©1967 de Mc Graw-Hill,Inc.).

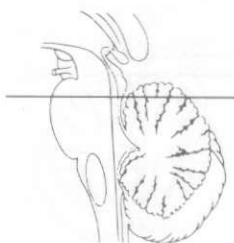
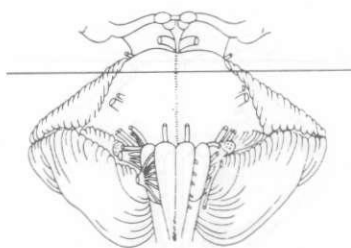
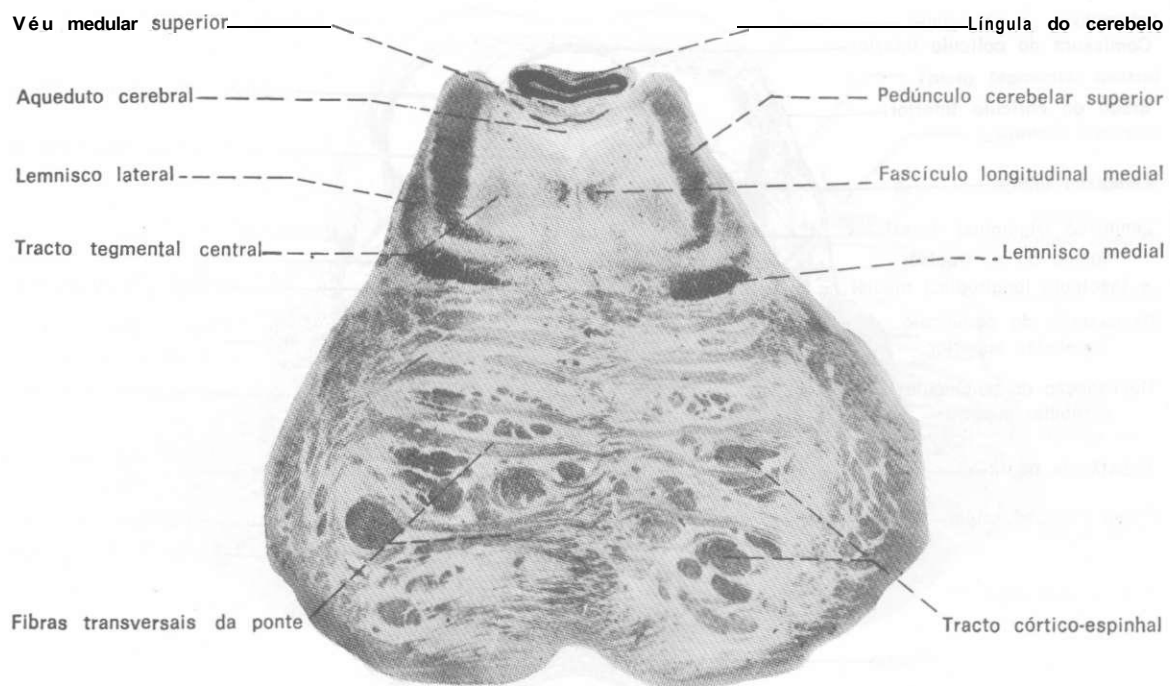



Fig. 32.8 — *Secção da parte cranial da ponte (fotografia dc uma preparação corada pelo método dc Weigert).*

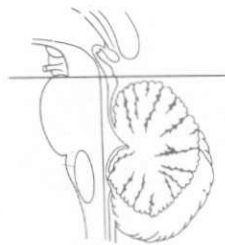
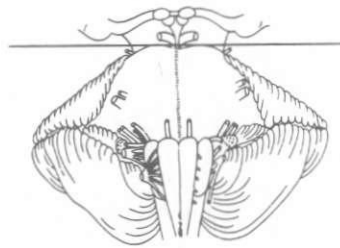
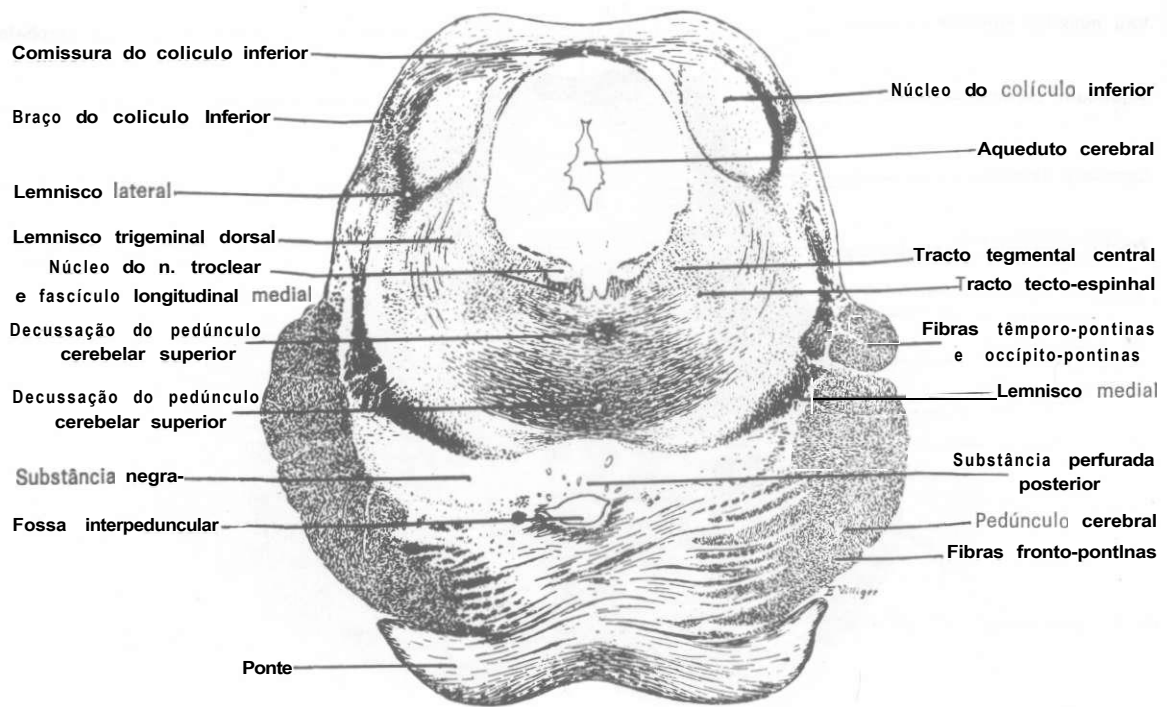



Fig. 32.9 — *Secção de mesencéfalo ao nível do coliculo inferior (Reproduzido, com permissão, dc House and Pansky — Functional Approach to Neuroanatomy. Copyright © 1967 de Mc Graw-HillInc.).*

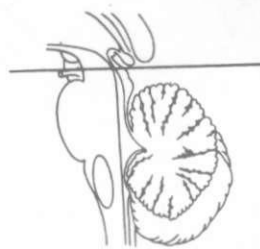
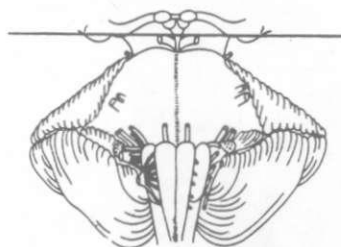
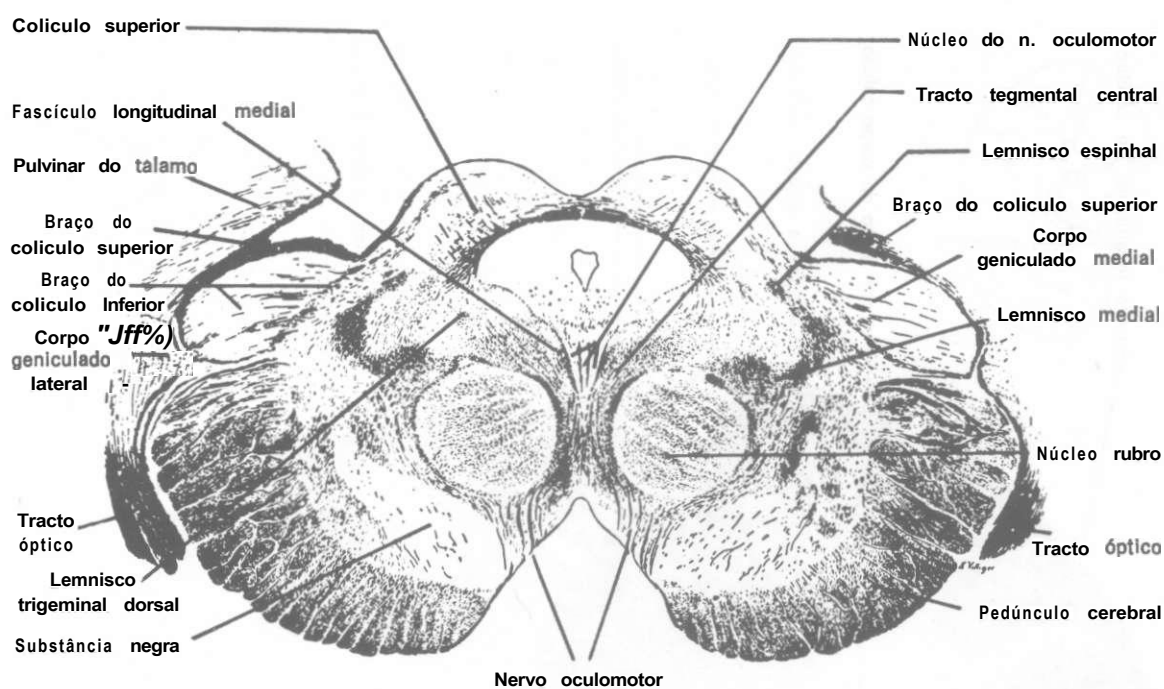



Fig. 32.10 — *Secção de mesencéfalo ao nível do coliculo superior (Reproduzido, com permissão, de House and Pansky — Functional Approach to Neuroanatomy. Copyright © 1967 de Mc Graw-Hill Inc.).*

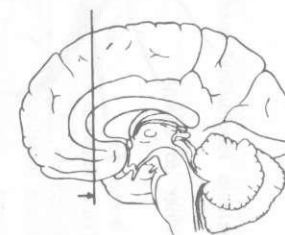
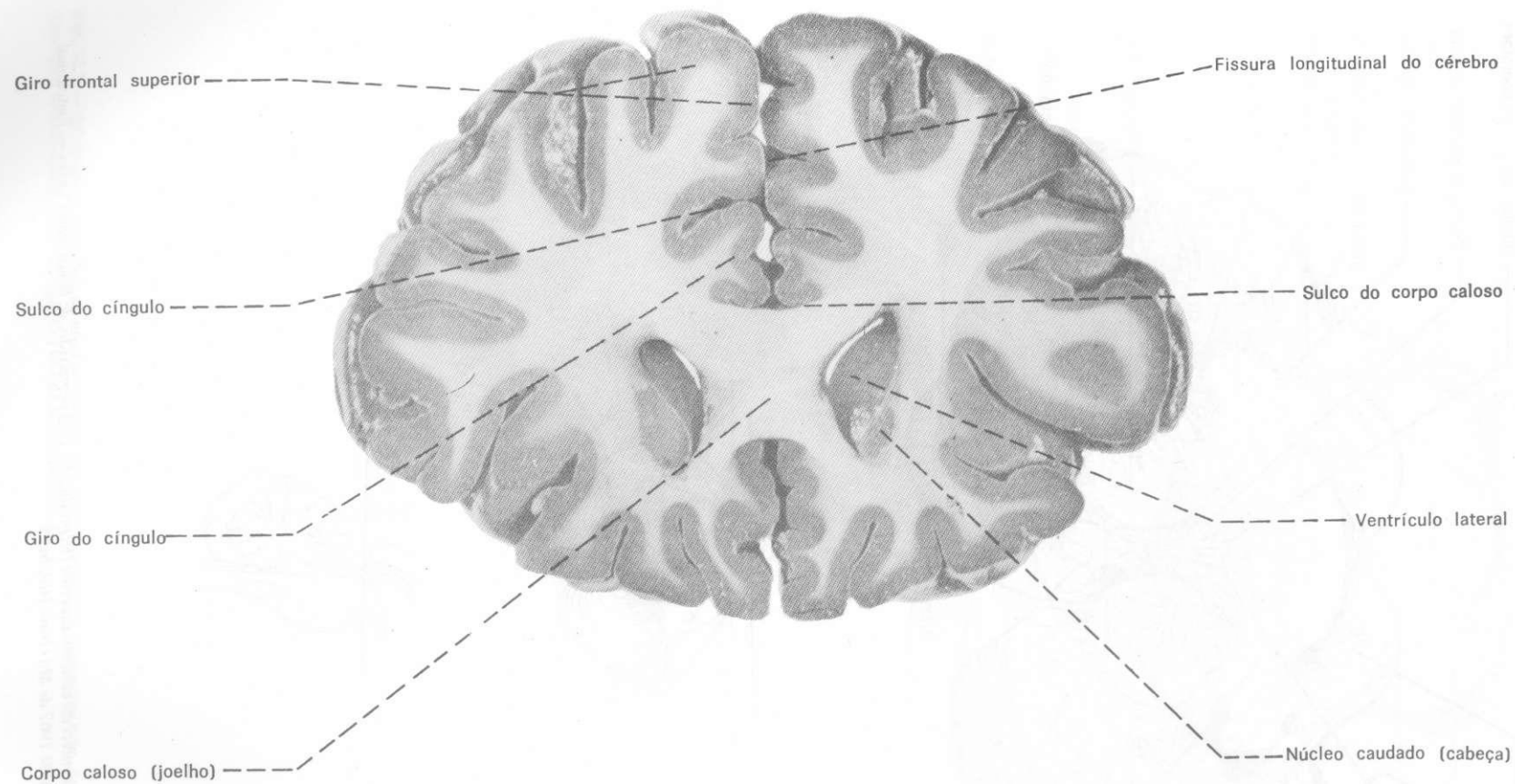



Fig. 32.11 — *Secção frontal de cérebro passando pelo corno anterior dos ventrículos laterais e joelho do corpo caloso.*

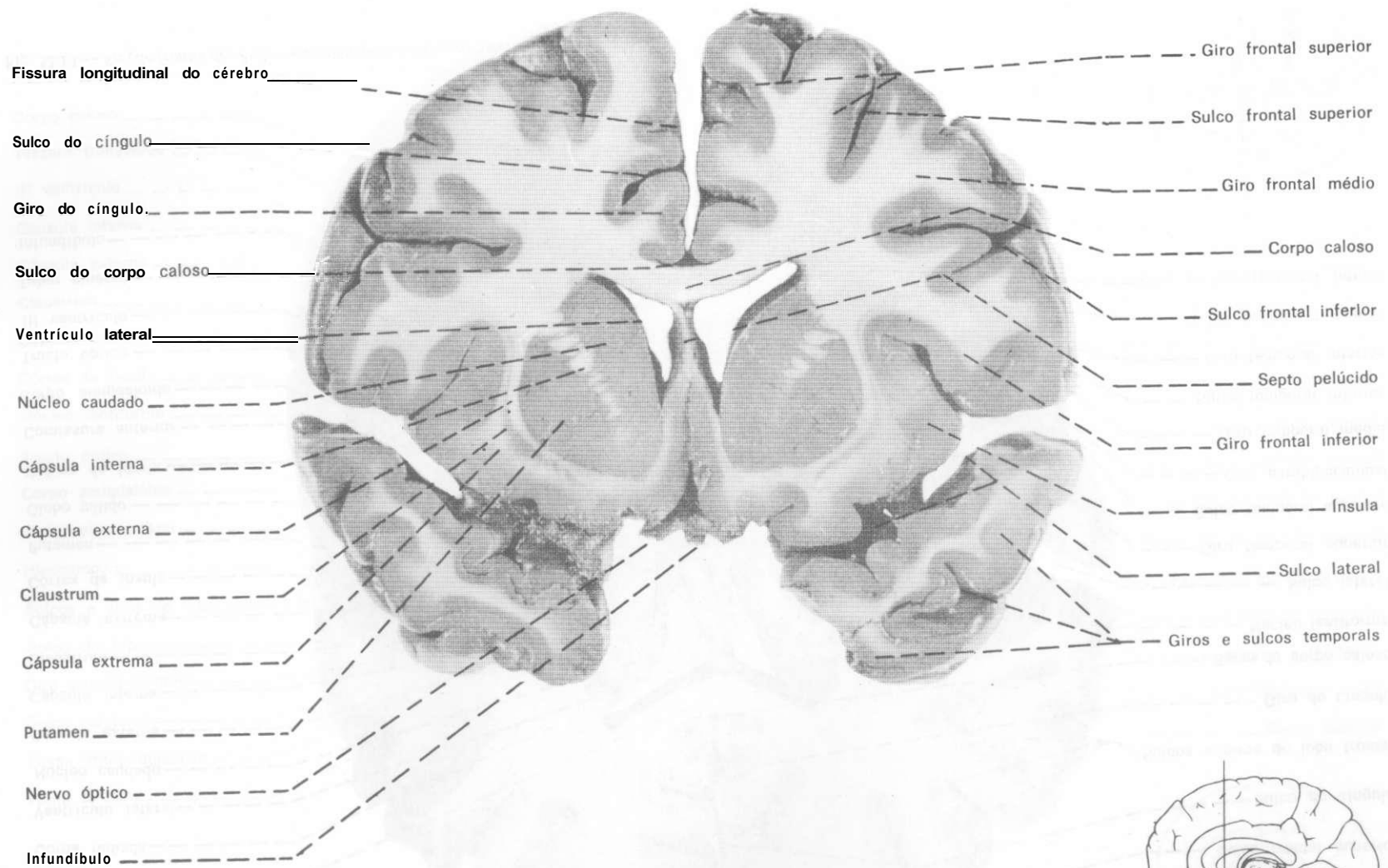



Fig. 32.12 - *Secção frontal de cérebro passando pela parte anterior do corpo estriado.*

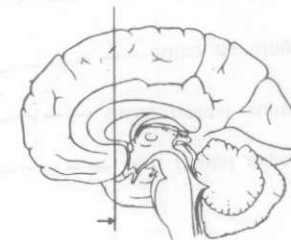
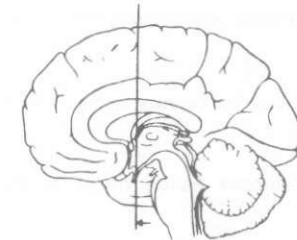
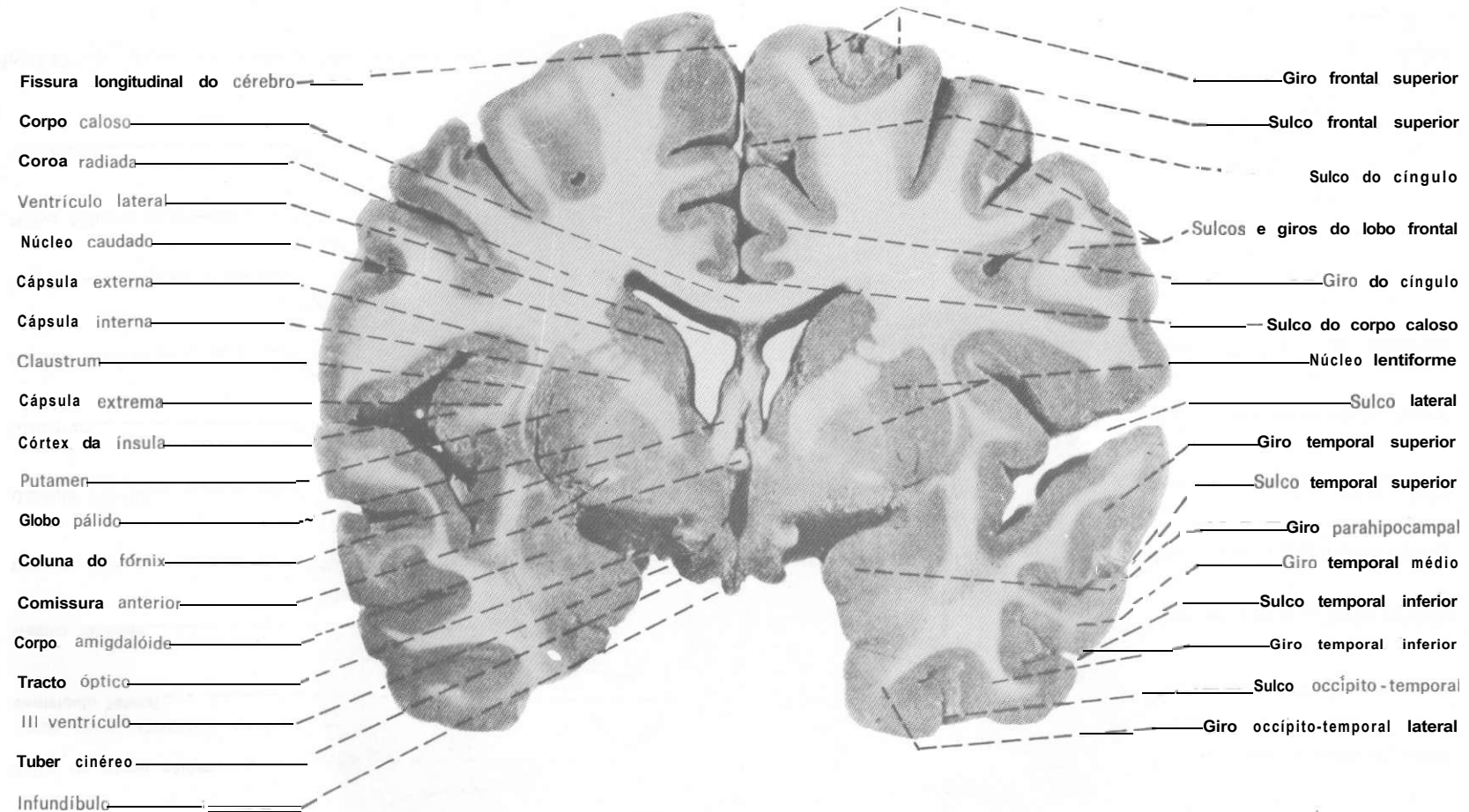



Fig. 32.13 — *Secção frontal de cérebro passando pela comissura anterior.*

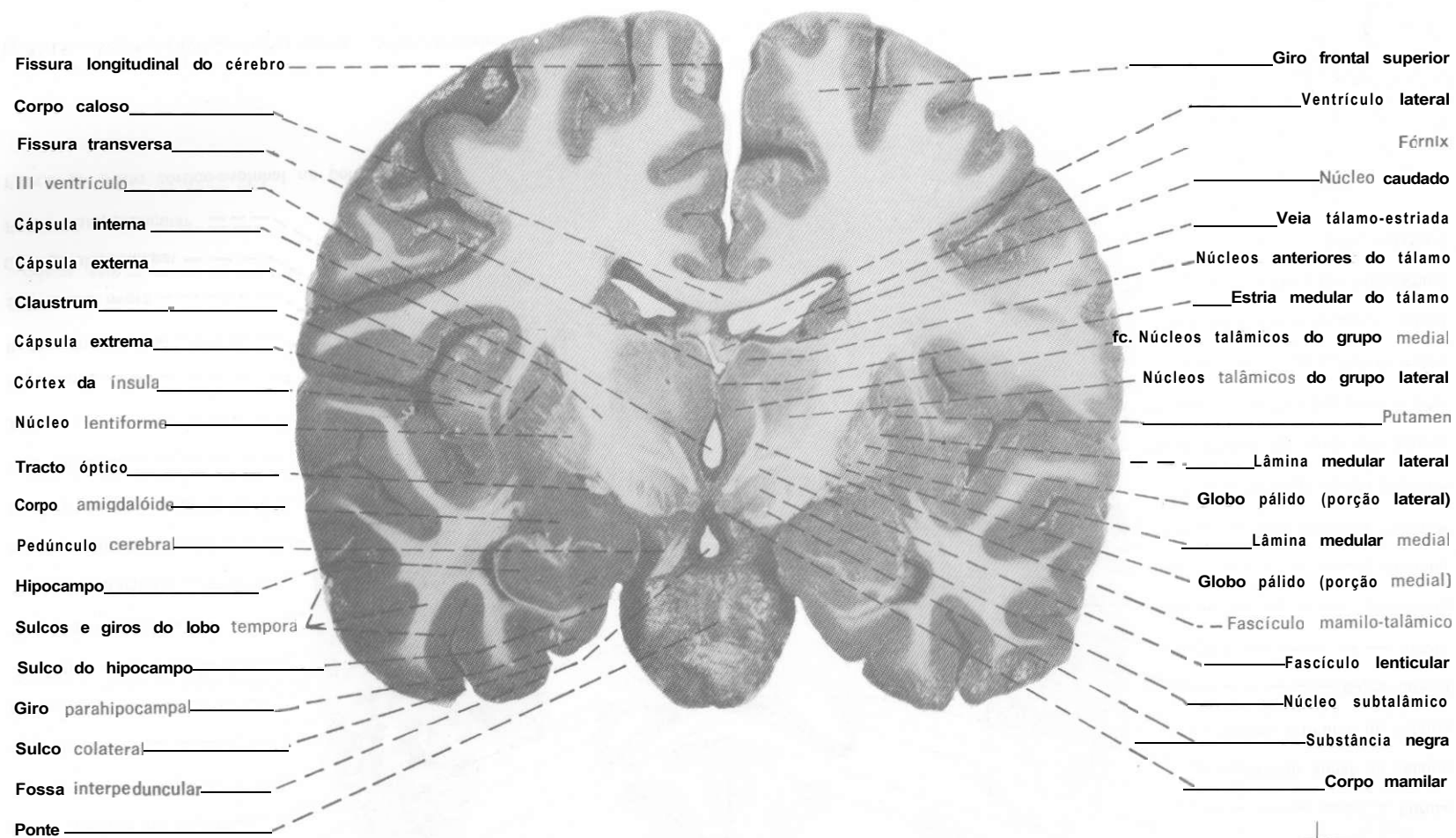



Fig. 32.14 — *Secção frontal de cérebro passando pelo tubérculo anterior do tálamo e pelo subtálamo.*

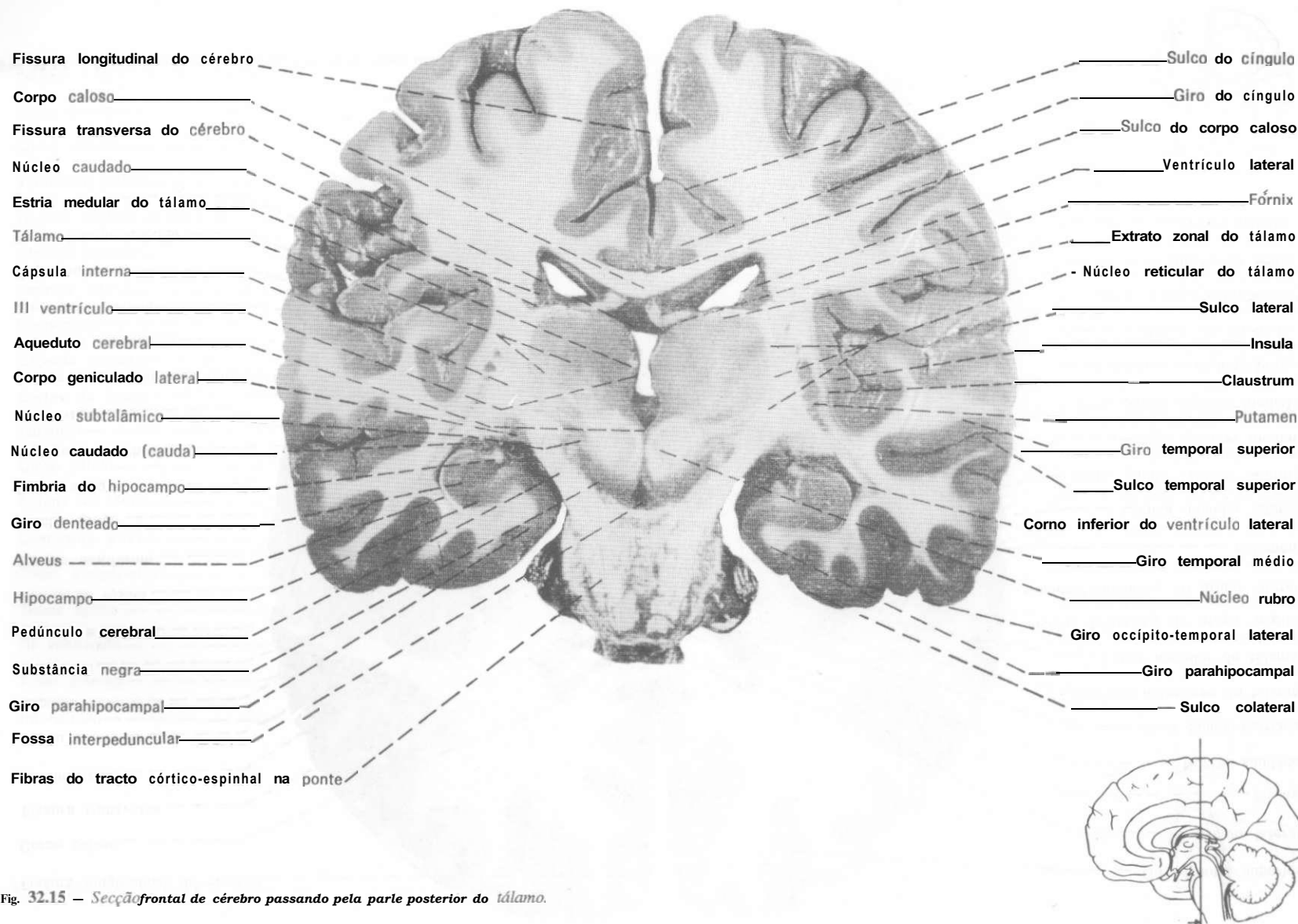



Fig. 32.15 — *Secção frontal de cérebro passando pela parte posterior do tálamo.*

Fissura longitudinal

Lobo parietal superior

Sulco intraparietal

Calcar avis

Lobo parietal inferior

Sulco calcarino

Sulcos e giros do lobo temporal

Ventrículo lateral (corno posterior)

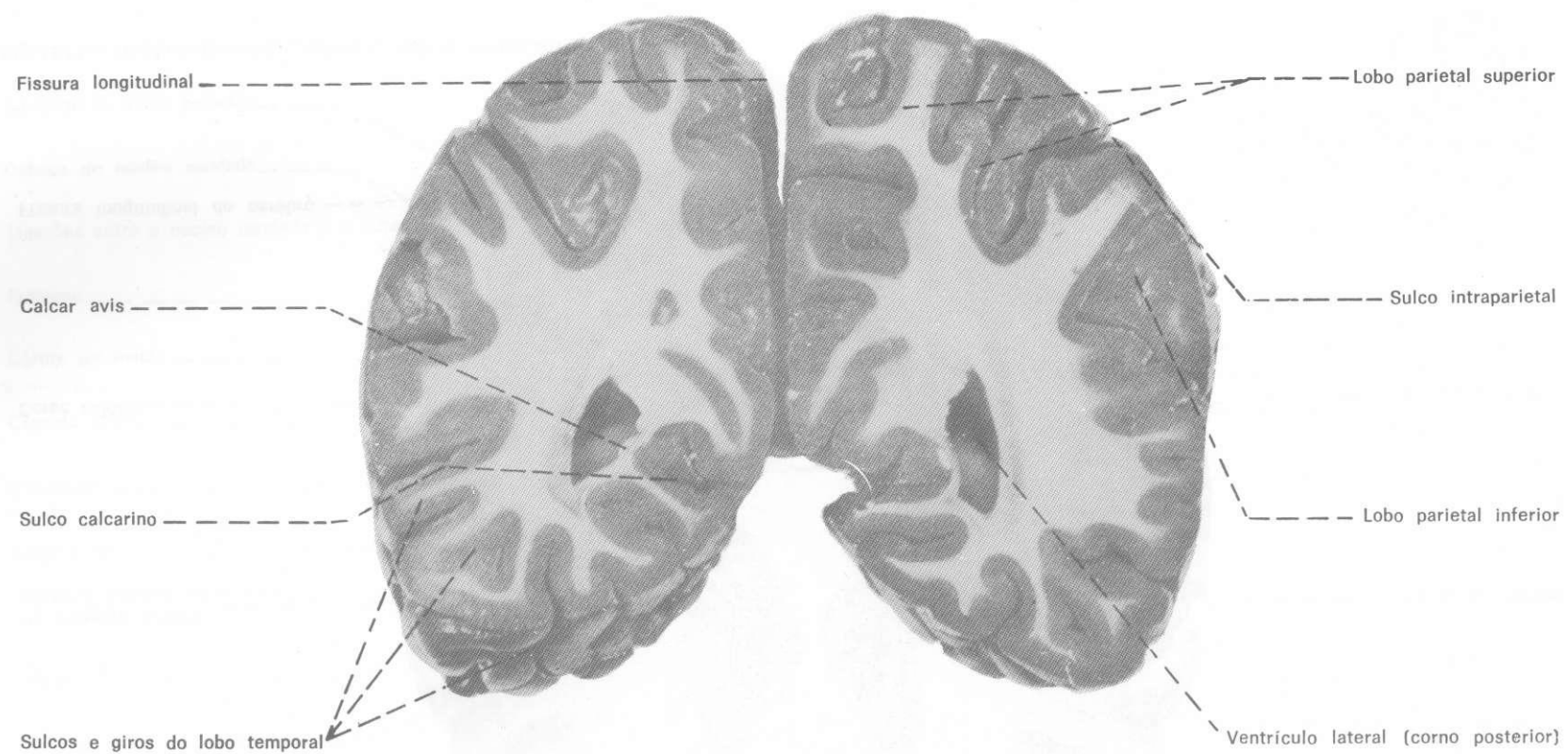



Fig. 32.16 — *Secção frontal de cérebro passando pelo corno posterior dos ventrículos laterais.*

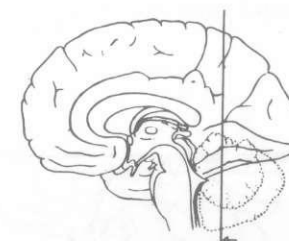
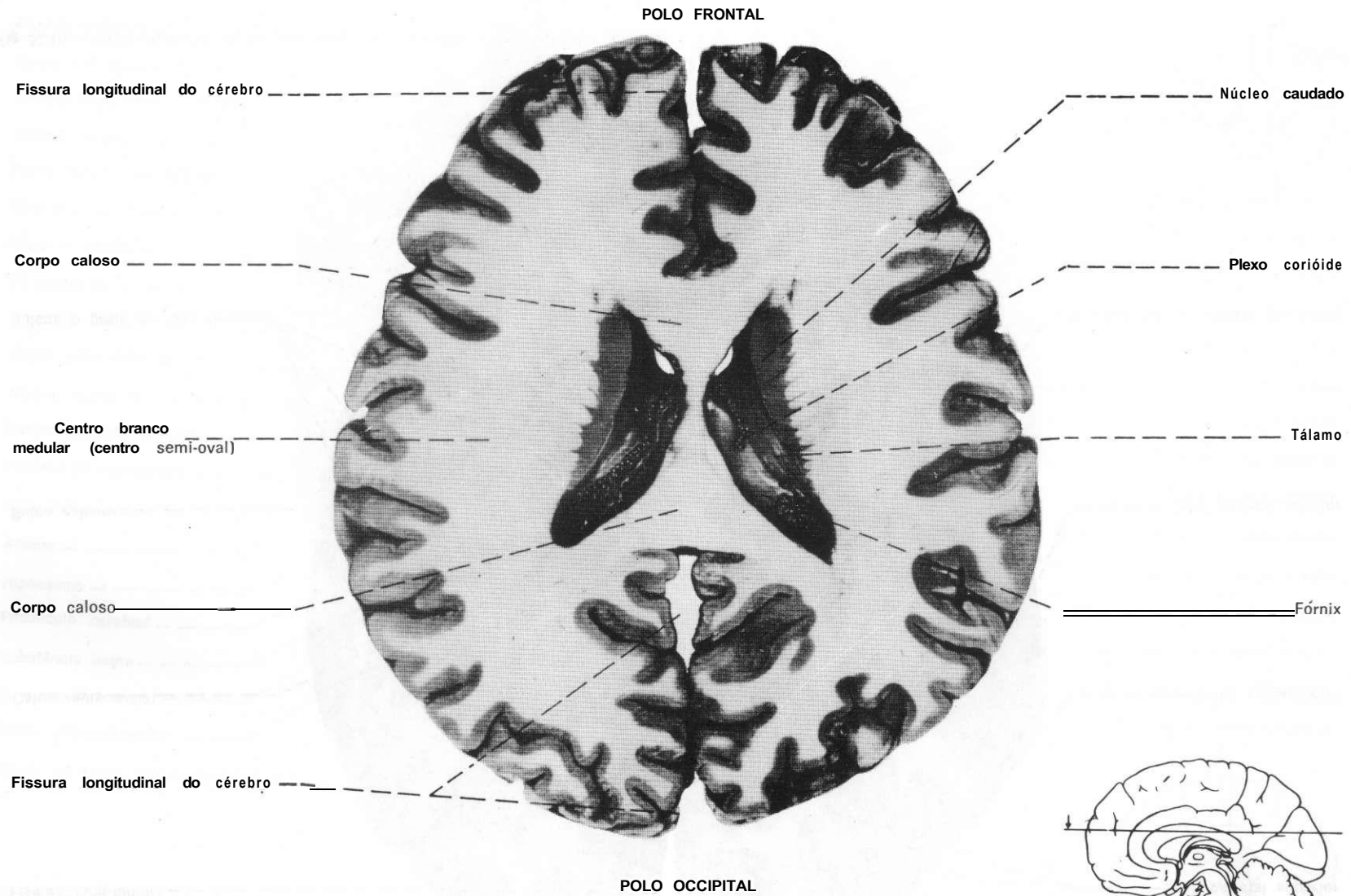



Fig. 32.17 — *Secção horizontal de cérebro passando pelo tronco do corpo caloso.*

POLO FRONTAL

Cavidade do septo pelúcido

Cabeça do núcleo caudado

Ligações entre o núcleo caudado e o putamen

Putamen

Córtex da ínsula

Cápsula extrema

Claustrum

Cápsula externa

Cápsula interna

Tálamo

Cauda do núcleo caudado

Plexo corióide do ventrículo lateral

Fissura longitudinal do cérebro

Fissura longitudinal do cérebro

Joelho do corpo caloso

Corno anterior do ventrículo lateral

Septo pelúcido

Coluna do fórnix

Núcleos anteriores do tálamo

Giros temporais transversos

Núcleos laterais do tálamo

Núcleo dorso-medial do tálamo

Tecto do III ventrículo

Trígono colateral

Perna do fórnix

Esplênio do corpo caloso

POLO OCCIPITAL

Fig. 32.18 — *Secção horizontal de cérebro ao nível da fissura transversa do cérebro.*

POLO FRONTAL

Ventrículo lateral
Ligações entre o núcleo caudado e o putamen
Cápsula interna (perna anterior)
Cápsula interna (joelho)
Forame interventricular
Putamen
Lâmina medular lateral
Globo pálido (porção lateral)
Lâmina medular medial
Globo pálido (porção medial)
Cápsula interna (perna posterior)
III ventrículo
Cauda do núcleo caudado
Pulvinar do tálamo
Fascículo retroflexo
Comissura das habênulas
Cerebelo

Corpo caloso (rostro)
Cavidade do septo pelúcido
Septo pelúcido
Coluna do fórnix
Putamen
Cápsula externa
Claustrum
Cápsula extrema
Córtex da insula
Globo pálido
Fascículo mamilo-talâmico
Tálamo
Aderência intertalâmica
Núcleos da habênula
Colículo superior
Corpo pineal

POLO OCCIPITAL

Fig. 32.19 — *Secção horizontal de cérebro ao nível do forame interventricular.*

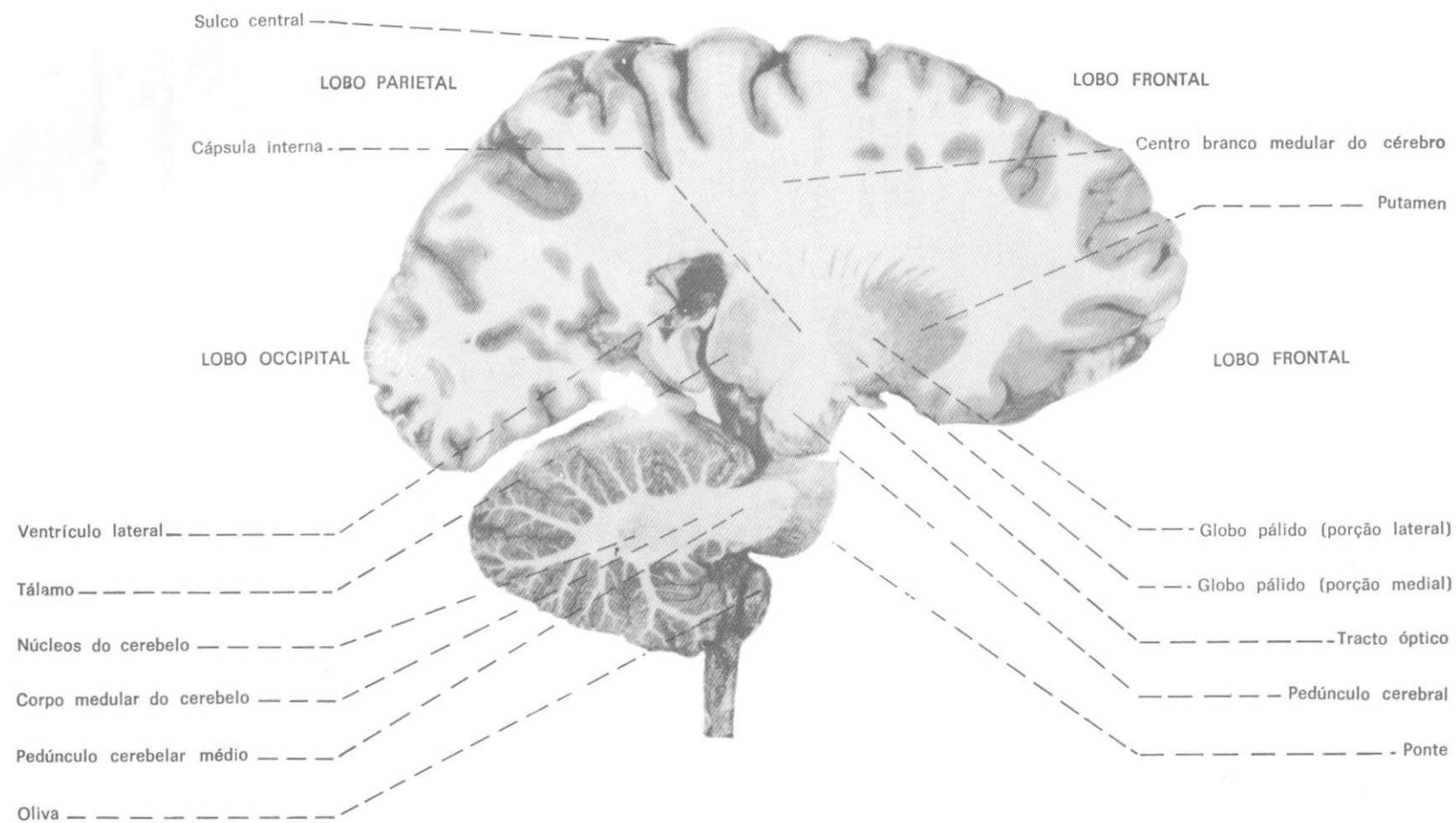



Fig. 32.20 — *Secção sagital de encéfalo.*

Índice Alfabético de Assuntos

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

T

U

ÍndiceAlfabético de Autores

A

B

c

D

E

F

G

"*Neuroanatomia Funcional, do professor Angelo Machado, após vários anos de sucessivas reimpressões decorrentes de seu sucesso entre estudantes e professores da área de neurociências, é apresentado agora em nova edição, totalmente revista e ampliada. Esta segunda edição traz mudanças radicais em alguns capítulos, como os que tratam da estrutura e função do cerebelo, dos núcleos da base, do córtex cerebral e das grandes vias motoras.*

Algumas áreas pouco conhecidas e que se tornaram importantes do ponto de vista clínico em razão dos avanços que experimentaram nos últimos tempos - como as vias monoaminérgicas centrais, as vias da analgesia, o planejamento motor e as bases anatômicas de algumas doenças, como por exemplo a doença de Alzheimer - são apresentadas de maneira simples e precisa. Tendo em vista o grande desenvolvimento das técnicas de diagnóstico por neuroimagem, o professor Angelo Machado introduziu-as no seu livro, possibilitando ao aluno um contato direto com as aplicações práticas dessas técnicas, que revolucionaram o conhecimento e o tratamento das afecções neurológicas, como a tomografia computadorizada, a ressonância magnética e a tomografia por emissão de pósitrons.

Entre as grandes modificações desta edição está a inclusão de um capítulo sobre o tecido nervoso, escrito pela professora Conceição R.S. Machado, do Departamento de Morfologia da UFMG, esposa do autor e sua colaboradora de muitos anos. Nesse capítulo estudam-se não só a unidade fundamental do sistema nervoso, o neurônio, como também outros tipos celulares que constituem a neuróglia. Os mecanismos de transmissão sináptica, bem como a organização dos neurotransmissores e fibras nervosas, são aí abordados de maneira clara e completa.

Deve-se ressaltar também em Neuroanatomia Funcional *a ênfase dada aos aspectos da aplicação clínica e da fisiopatologia de grande número de afecções neurológicas, o que torna o livro útil não só a estudantes de medicina e psicologia, mas também a todos os profissionais envolvidos no estudo do sistema nervoso. O excelente trabalho artístico realizado pelo desenhista Fernando Valmoro, constituído de desenhos originais feitos sob a orientação do autor, enriquece ainda mais a obra.*"

Professor Gilberto Belisário Campos

Este é mais um livro da Biblioteca Biomédica da Editora Atheneu.

ISBN 85-7379-069-5